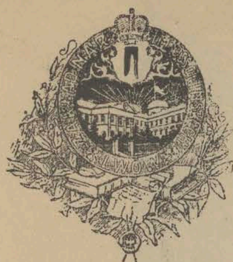


WNICTWO KSIĄŻEK SZKOLNYCH
ĄDU NAR. IM. OSSOLIŃSKICH
WE LWOWIE

Adres tel.: **Ossolineum — Lwów.**
Konto P. K. O. Nr. 112.942.
Tel. 524.

L. ....

I

Kopia III

Rozdział I

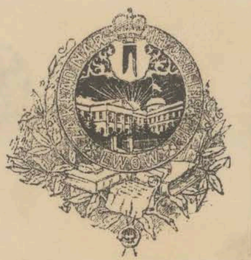
1

Wydawnictwo Książek Szkolnych
Zakładu Narod. im. Ossolińskich

Wiadomości z nauki Fizyki

~~ułożone~~ przez

Dra prof. Władysława Natansona
i
Dra prof. Konstantego Zakrzewskiego



Lwów – 1920 – Warszawa.

W s k a z ó w k i dla p. Z e c e r a

1° Ustępy zakreślone || mają być składane pismem mniejszem - wprawdzie czytelnem i wyraźnem, ale drobniejszem, niż tekst główny.

2° Znak └ znaczy a cap. /od wiersza z cofnięciem tekstu od brzegu wiersza/.
Gdzie niema znaku └ trzeba zaczynać od samego brzegu nowego wiersza.

3° Litery podkreślone w tekście /np. A, B, a/ prosimy składać kursywą.
Również kursywą wyrazy podkreślone n.p. nie , siła, wypadkowa etc.

Podkreślone ------- pismem rozstrzelonem n.p. N e w t o n

4° Tytuliki paragrafów /oddzielnych artykułów/ prosimy pismem nieco grubszem niż pismo tekstu, ale nie za nadto dużem - ażeby tytulik mieścił się zawsze w 1 wierszu.

5° cm, m, mm, km, sek, g, mg, kg, l, cm^2, cm^3 } zwykłą antykwą nie kursywą i bez kropki

6° Cudzysłów /-------/ albo a nie „/------/"

7° Trzeba odróżnić dywiz od kreski. Np. jeżeli stoi: 5-go, 16-go, w § 9-ym itd, to trzeba oczywiście dać dywiz /króciutką kreskę/ a nie długą kreskę.

R O Z D Z I A Ł   P I E R W S Z Y

O SIŁACH. O RUCHU. O PRACY I ENERGII.

Rozdział pierwszy

O siłach. O ruchu. O pracy i energji.

§ 1. Ciała. Objętość ciała. Powierzchnia ciała.

Mamy wciąż do czynienia z różnemi rzeczami czyli przedmiotami; w nauce nazywamy je *ciałami*. Sprzęty nasze na przykład naczynia, narzędzia, budynki, odzież nasza, potrawy, napoje, kamienie, rośliny, zwierzęta — są to ciała. Drobne ziarnko piasku jest ciałem, olbrzymia góra jest ciałem. Zarówno kawałek żelaza jest ciałem, jak chmura na niebie lub dym, uchodzący z komina. Woda, płynąca rzeką, jest ciałem; ciałem jest też powietrze, w którem jesteśmy zanurzeni.

Ciała zajmują i wypełniają miejsce; powiadamy, że każde ciało ma pewną *objętość*, Góra n. p. ma pewną objętość i ziarnko piasku ma pewną objętość; tylko góra ma znacznie większą objętość. Wnętrze dzbana ma większą objętość, niż szklanka; powiadamy, że dzban ma większą *pojemność*, niż szklanka.

Weźmy duży arkusz papieru i niewielki klocek drewniany. Arkusz papieru ma *objętość* małą, mniejszą niż klocek; jeśli włożymy po kolei jedno i drugie do dzbana, pełnego wody, zobaczymy, że klocek wypycha znacznie więcej wody. Ale arkusz papieru ma znacznie większą *powierzchnię*, niż klocek; istotnie, możemy klocek owinąć papierem i nie tylko raz, ale kilka razy. Dlaczego papier, pomimo znacznej powierzchni, ma nieznaczną objętość? Ponieważ papier ma grubość nieznaczną. Kawałek drutu, równie długi jak ołówek, będzie miał objętość mniejszą, niż ołówek, ponieważ jest mniej gruby czyli, ponieważ ma mniejsze poprzeczne *przecięcie*. Ale bardzo długi drut może mieć taką samą objętość jak ołówek, jeśli jego mniejsze przecięcie wynagrodzi znacznie większą długością.

§ 2. O mierzeniu.

Porównywaliśmy w § 1 objętość góry z objętością ziarnka, pojemność dzbana z pojemnością szklanki, powierzchnię papieru z powierzchnią klocka, długość drutu z długością ołówka. Można zatem można porównywać objętość z objętością, powierzchnię z powierzchnią, długość z długością. Ale nie można porównywać n. p. powierzchni z długością, gdyż, ilekolwiek razy wzięlibyśmy jaką długość, zawsze otrzymalibyśmy znów długość, nigdy zaś powierzchnię. Taksamo nie można porównywać powierzchni z objętością ani objętości z długością.

Przypuśćmy, że porównaliśmy trzy długości n. p. długości trzech prętów *A*, *B*, *C*. Przekonaliśmy się, że:

pręt *A* jest 3 razy dłuższy od pręta *B*,
pręt *B* jest 4 razy dłuższy od pręta *C*.

5

Wybierzmy długość pręta C za jednostkę długości, czyli powiedzmy:

Długość pręta A = 12 razy długości pręta C;

Długość pręta B = 4 razy długości pręta C.

Gdyby wszyscy wiedzieli, jak długi jest pręt C, możnaby było krócej powiedzieć:

Długość pręta A = 12.

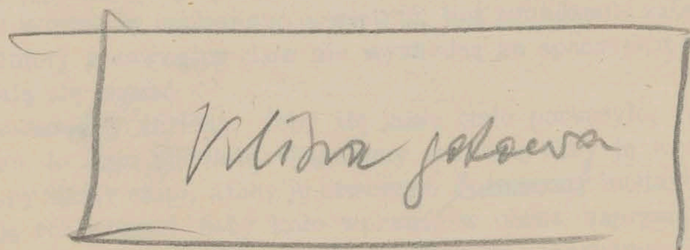
Długość pręta B = 4.

Taką właśnie długością, którą wszyscy znają, jest w wielu krajach metr /m/. Długość metra jest prawnie przepisana i łatwo otrzymać jego kopję czyli odtworzenie. Gdy zatem powiemy „pięć metrów" lub „półtrzecia metra", wszyscy będą wiedzieli, o jakiej długości mówimy.

Długości porównywamy zatem z metrem czyli mierzymy metrem. Ale niekiedy bywa nam dogodniej mierzyć długości za pomocą części metra. Nazwy tych części są następujące:

- Dziesiąta część metra nazywa się decymetrem /dm/
- Setna część metra nazywa się centymetrem /cm/
- Tysiączna część metra nazywa się milimetrem /mm/

Rys.1. wyobraża 1 decymetr /w rzeczywistej długości/, podzielony na 10 centymetrów i na 100 milimetrów.



Rysunek № 1

Tysiąc metrów nazywamy kilometrem

Podobnie jak długości można porównywać tylko z pewną długością, rozległości powierzchni czyli *pola* można porównywać tylko z rozległością pewnej powierzchni czyli z pewnem polem. Jednostką długości, jest, jak wiemy, pewna raz na zawsze obrana długość, mianowicie metr; podobnie jednostką pól jest pewne, raz na zawsze obrane pole. Metryczną jednostką pól jest *metr kwadratowy* (m^2) czyli pole kwadratu, którego boki mają każdy po 1 metrze długości. Inną jednostką pól jest t. zw. *ar* (*a*), który jest równy 100 metrom kwadratowym. Sto arów nazywamy *hektarem* (*ha*). Ar zatem można wyobrazić jako kwadrat, o bokach równych każdy 10 metrom; hektar jako kwadrat o bokach, równych każdy 100 metrom. Obie te jednostki pola bywają używane przy pomiarach powierzchni gruntu.

Pragnąc mierzyć objętości, musimy znowu posługiwać się pewną, raz na zawsze obraną objętością, którą nazywamy jednostką objętości. Taką jednostką objętości metryczną jest *metr sześcienny* (m^3) czyli objętość sześcianu, którego krawędzie mają każda po 1 metrze długości. Objętość sześcianu, którego krawędzie mają każda po 1 decymetrze długości, nazywa się decymetrem sześciennym lub krócej *litrem* (*l*). Metr sześcienny zawiera zatem 1000 litrów.

Miary metryczne zostały po raz pierwszy ustanowione we Francyi, w końcu XVIII. stulecia, przez komisyę uczonych; następnie, jako nadzwyczaj dogodne, upowszechniły się w wielu innych krajach i państwach.

wszystkie te litery stać antykwą

§ 3. O sile.

Zwróćmy uwagę na przedmioty, znajdujące się w pokoju. One stoją nieruchome,

~~w pokoju stoją nieruchome~~, dopóki ich kto nie popchnie, nie potrąci, nie pociągnie. Nie tylko stoły i szafy stoją nieruchome, które i nam trudno poruszyć, ale też takie przedmioty, które można wprawić w ruch z największą łatwością. Choćby się n. p. drzwi najlżej otwierały, nie otworzą się same przez się. Lampa, wisząca na sznurze, albo huśtawka, którą poruszyć tak łatwo, pozostawiona sobie, trwa w zupełnym spoczynku. Drzewa i liście na nich, kłosy zboża w polu, które chwieją się i kołyszą za lada podmuchem wiatru, stoją zupełnie nieruchome w spokojnem powietrzu. Bez pobudzenia zatem, bez podniety z zewnątrz ciała nie wychodzą ze spoczynku, nie poczynają się ruszać.

~~To też~~ gdy chcemy, żeby się jakie ciało poruszyło, dajemy mu do tego podnietę. Ciągniemy szufladę, żeby ją wysunąć; popychamy okno, ażeby je otworzyć. ~~Poruszamy~~ Potrącamy huśtawkę, ażeby ją rozkołysać; żeby koło wprawić w obrót, naprzemian ciągniemy ku sobie jego korbę i od siebie ją odpychamy. Ciągnienie, pchanie, potrącanie, naciskanie ~~nazywa się w nauce~~ wywieraniem są to przykłady siły.

Np.

lub

Na za

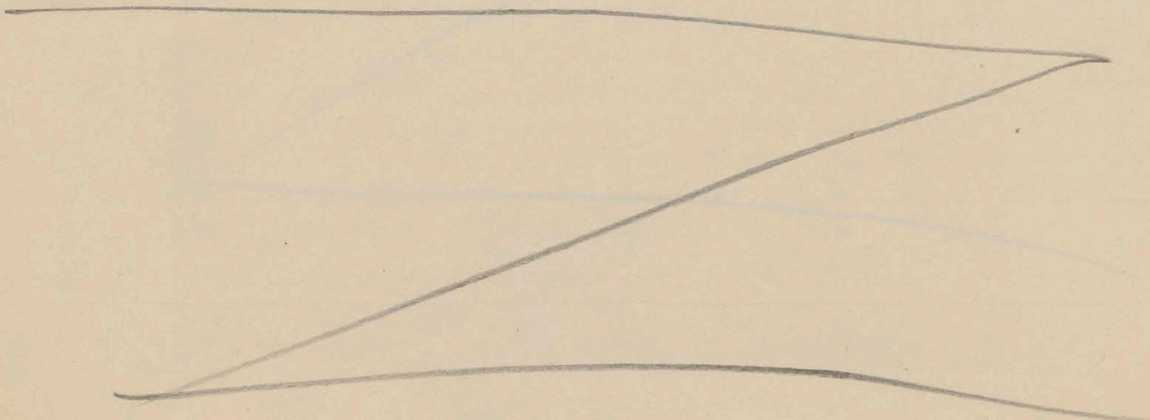
Na

~~siły~~. Człowiek wywiera siłę zapomocą mięśni. Ale nie tylko człowiek ma władzę wywierania siły. Kula tocząca się przewraca kręgle; woda płynąca porusza młyn wodny; wiatr wznosi kurz do góry, pędzi liście, spadające jesienią, obraca wiatraki, niekiedy zrywa kapelusze z głów, a nawet dachy z domów. Sprężyna nakręcona wprawia kółko zegarka w ruch, więc musi je popychać i pociągać podobnie, jak ręka ludzka popycha i pociąga korbę koła, które obraca. Rzeczywiście, jeśli skręcimy sprężynę ręką, albo taśmę kauczukową mocno wyciągniemy w ręku, uczujemy, że sprężyna uciska rękę, że taśma ją ciągnie, zupełnie jak gdyby ktoś ją uciskał lub ciągnął. Próbując zgiąć młode drzewko i pochylić ku ziemi, czujemy, że ono opiera się temu i ciśnie na naszą dłoń. Więc sprężyna skręcona, taśma wyciągnięta, drzewko zgięte wywierają siłę; nazywamy ją *siłą sprężystości.*

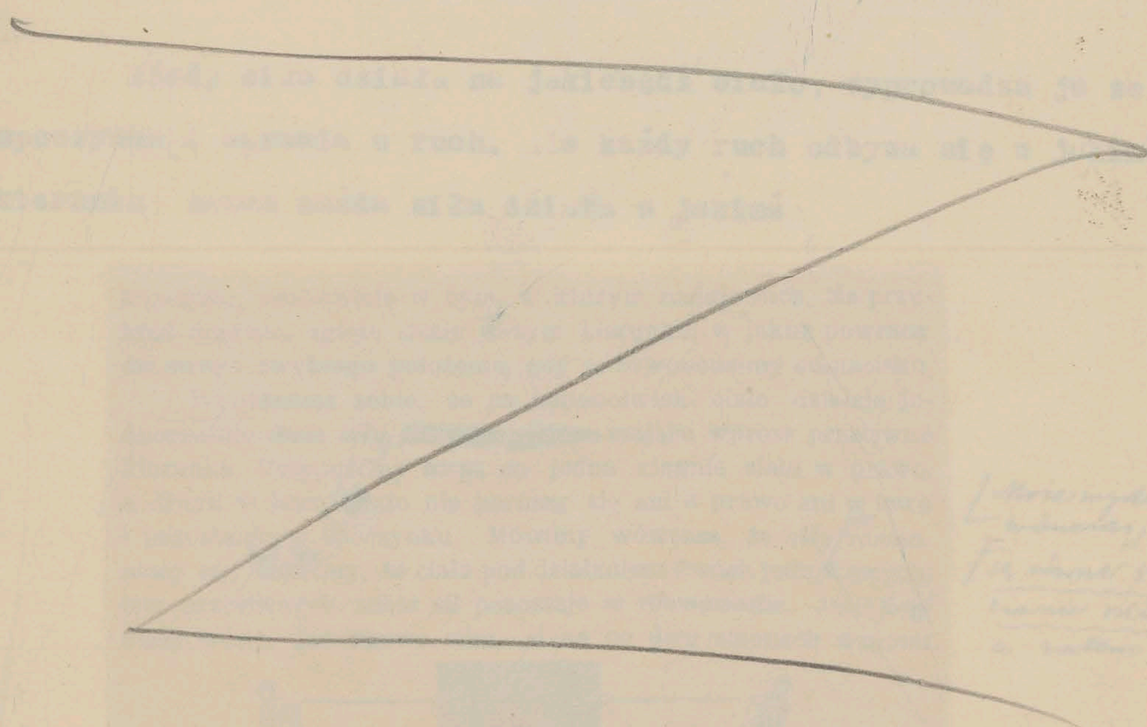
Powiadamy zatem: do wyprowadzenia jakiegobądź ciała ze spoczynku potrzeba działania *siły.*

§. 4. Działaniu każdej siły towarzyszy przeciwdziałanie.

Ciągnąc szufladę, popychając drzwi lub okno, poruszając lampę lub huśtawkę, wprawiając koło w obrót, czujemy ~~jakby~~ opór szuflady, drzwi, okna, koła, lampy lub huśtawki. Zatem gdy my wywieramy pewną siłę, na nas wywierana jest pewna siła przeciwna. Inaczej mówimy, że działaniu naszemu na ciała towarzyszy *przeciwdziałanie*, którego od tych ciał doznajemy. Każde wogóle działanie łączy się w podobny sposób z przeciwnem mu przeciwdziałaniem. ~~Przeciwdziałanie~~ możemy wykazać ~~kilku~~ różnemi sposobami. Pomieściwszy się w huśtawce lub łódce, pocznijmy wyrzucać z niej kamienie, uprzednio tam złożone. Zobaczymy, że huśtawka lub łódka cofa się za każdym rzutem. Kiedy więc my odpychamy kamienie, kamienie równocześnie odpychają nas, a za naszem pośrednictwem łódkę czy huśtawkę. Z podobnej przyczyny pochodzi wsteczne uderzenie, które otrzymujemy, dając strzał ze strzelby, jak również znane cofanie się armat podczas wystrzału.



Przypuśćmy, że utwierdziliśmy armatę w ziemi tak trwale, że ona niemoże cofnąć się skutkiem wystrzału. Co stanie się wówczas z uderzeniem wstecznem, z przeciwdziałaniem? Armata utwierdzona stanowiła widocznie całość z kulą ziemską; zatem uderzenie wsteczne zostało udzielone całej kuli ziemskiej, na ruch zaś bryły tak olbrzymiej wywarło wpływ niezmiernie mały. Z podobnego powodu przeciwdziałanie, którego doznajemy nieustannie od różnych ciał /na które wywieramy siłę czyli działanie/ uchodzi zazwyczaj naszej uwagi: przekazujemy je zazwyczaj kuli ziemskiej za pośrednictwem własnego ciała, za pośrednictwem ścian i podłóg budynków.



Nalewamy wody do dużego płaskiego naczynia; na powierzchni wody umieszczamy dwa jednakowe, lekkie, drewniane lub korkowe czółenka. W jednem czółenku układamy spory magnes /zob.rozdział piąty/, w drugiem kawałek miękkiego żelaza. Kiedy czółenka znajdują się, w niezbyt znacznej odległości od siebie, w pośrodku naczynia i woda dokoła nich jest spokojna, uwalniamy je i pozwalamy /obu czółenkom jednocześnie/ poruszać się swobodnie. Dostrzegamy wówczas, że czółenka płyną ku sobie. Zatem magnes ciągnie ku sobie żelazo, ale jednocześnie żelazo pociąga magnes ku sobie.

Wypowiadamy więc ogólnie prawo działania i przeciwdziałania w sposób następujący: dwa ciała wywierają na siebie nawzajem siły skierowane przeciwnie. Innemi słowy, działaniu każdej siły towarzyszy zawsze działanie siły, skierowanej przeciwnie i przyłożonej do ciała, które pierwszą siłę wywiera.

§ 5. O równowadze.

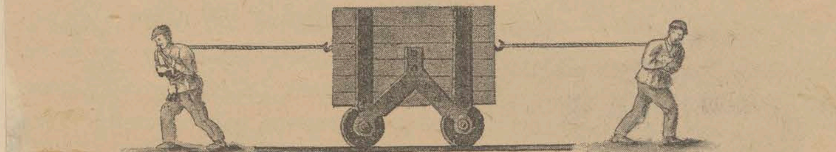
Kiedy siła działa na jakiebądź ciało, wyprowadza je ze spoczynku i wprawia w ruch. Ale każdy ruch odbywa się w jakimś kierunku; zatem każda siła działa w jakimś

kierunku, mianowicie w tym, w którym nadaje ruch. Na przykład drzewko zgięte ciśnie w tym kierunku, w jakim powraca do swego zwykłego położenia, gdy je oswobodzimy od nacisku.

Wyobraźmy sobie, że na jakiekolwiek ciało działają jednocześnie *dwie siły*, [redacted] mające wprost przeciwne kierunki. Przypuśćmy ~~n. p.~~ że jedna ciągnie ciało w prawo, a druga w lewo, ciało nie poruszy się ani w prawo ani w lewo i pozostanie w spoczynku. Mówimy wówczas, że *siły równoważą się*; lub też mówimy, że ciało pod działaniem dwóch jednakowych, lecz przeciwnych sobie sił pozostaje *w równowadze*. Jeśli ~~n. p.~~ dwaj ludzie, jednakowo silni, staną po dwu stronach wagonu

Może wydawać się wówczas, że siły są równe sobie i przeciwnie skierowane, a zatem

Np.



Ryc. 2.

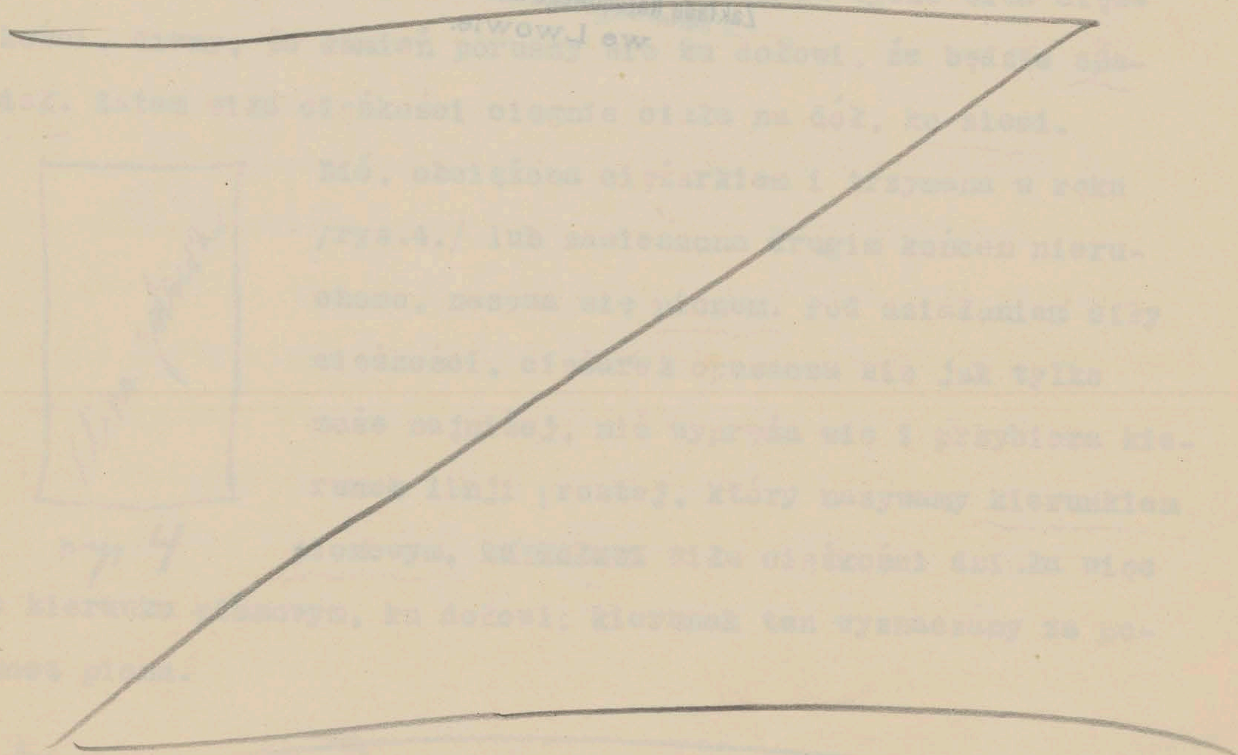
Rys. 2.

i każdy pocznie ciągnąć ku sobie (rys. 2.), wówczas wagon nie ruszy wcale z miejsca, jak gdyby go nikt nie ciągnął.

Należy to dobrze zrozumieć, iż równowaga dwóch różnych sił nie ma nic wspólnego z istnieniem pomiędzy ~~każdemi~~ dwoma ciałami działania i przeciwdziałania, o których była mowa w § 17. *Równowagę* mamy, kiedy ~~dwie siły sobie~~ przeciwne zostaną przyłożone *do tego samego ciała*, jak to n. p. widzimy na rys. 2-im. Działanie zaś i przeciwdziałanie pomiędzy dwoma ciałami, jak mówiliśmy w § 17., nie są przyłożone do tego samego ciała, lecz przeciwnie *do dwu różnych ciał*, wzajemnie działających na siebie, zatem wogóle *nie* wytwarzają równowagi.

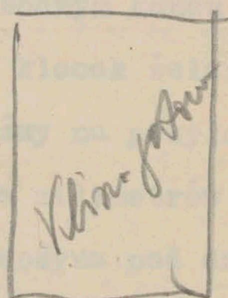
H 4-ym F równe i sobie siły
17 4-ym

Przypuśćmy, że z pomiędzy dwóch ludzi, wyobrażonych na rys.2-im mocniejszy jest ten, który ciągnie w prawo. Wagon poruszy się wówczas także w prawo, w kierunku działania siły znaczniejszej. Jeżeli więc działają na pewne ciało dwie siły wprost przeciwne i nierówne sobie, nastąpi ruch w kierunku działania siły przeważającej. Możemy przekonać się tym sposobem, która z dwóch przeciwnych ~~sobie~~ sił jest znaczniejsza.



§ 6. Siła ciężkości.

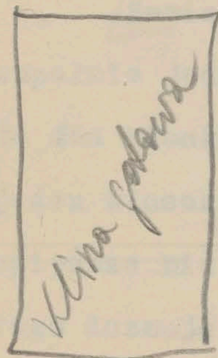
Umocujmy w podłodze jeden koniec taśmy kauczukowej a drugi ciągnijmy ku sobie, czujemy, że taśma ciągnie naszą rękę ku dołowi. Weźmy duży kamień i trzymajmy go w dłoni, kamień ciągnie rękę ku dołowi, podobnie jak ciągnęła ją taśma. Połóżmy kamień na materacu lub poduszce, kamień przyciska je podobnie, jak gdyby kto rękę przyciskał. Zawieśmy kamień na drzewku wygiętem; drzewko nie wyprostuje się, jak gdyby kto przytrzymywał je ręką /rys.3-ci/. Jakaś siła musi więc działać na kamień, która sprawia, że kamień może przyciskać lub ciągnąć. Siłę tę nazywamy siłą ciężkości.



rys. 3.

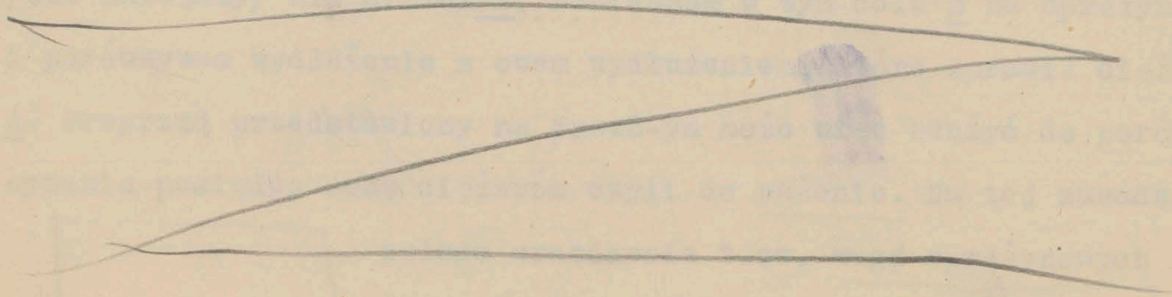
Wszystkie ciała, z któremi mamy do czynienia codziennie, są ciężkie; na wszystkie te ciała działa siła ciężkości. Ciężar ciała jest to działająca na to ciało siła ciężkości.

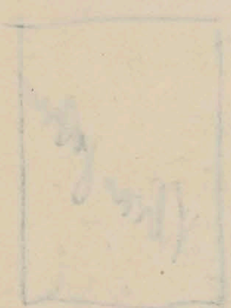
Gdy trzymamy kamień w ręku, równoważymy ciężar ciała siłą mięśni. Gdy otworzymy rękę, na kamień działa tylko siła ciężkości. Wiemy, że kamień poruszy się ku dołowi, że będzie spadał. Zatem siła ciężkości ciągnie ciała na dół, ku ziemi.

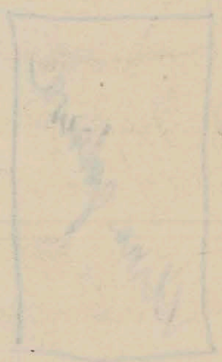


rys. 4

Nić, obciążona ciężarkiem i trzymana w ręku /rys.4./ lub zawieszona drugim końcem nieruchomo, nazywa się pionem. Pod działaniem siły ciężkości, ciężarek opuszcza się jak tylko może najniżej, nić wypręża się i przybiera kierunek linji prostej, który nazywamy kierunkiem pionowym. ~~xxxxxxx~~ Siła ciężkości działa więc w kierunku pionowym, ku dołowi; kierunek ten wyznaczamy za pomocą pionu.

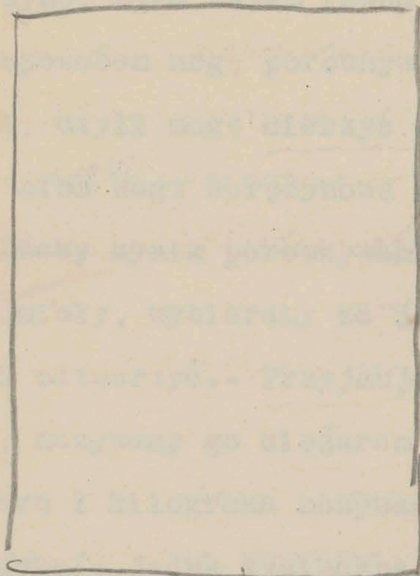






§ 7. Ciężary rozmaitych ciał.

Trzymając w ręku rozmaite przedmioty, czujemy, że one nie są jednakowo ciężkie. Kawałek żelaza jest znacznie cięższy niż kawałek szkła tej samej objętości; kawałek szkła jest znacznie cięższy niż kawałek korka tej samej jak szkło objętości.


rys. 5

Weźmy dość długą sprężynę i umocujmy ją górnym końcem, np. na belce poziomej /rys.5./ Na swobodnym końcu sprężyny zawieśmy klocek żelazny /rys.5a/; zauważmy na przyłożonej skali, o ile milimetrów wyciągnęła się sprężyna pod działaniem ciężaru żelaza. Powtórzmy to samo doświadczenie z klockiem drewnianym, tej samej objętości jak poprzedni żelazny /rys.5b/, dostrzegamy, że klocek drewniany wyciąga sprężynę mniej, niż żelazny.

Zawieśmy teraz na tej samej sprężynie dwa klocki żelazne, zupełnie jednakowe co do objętości i gatunku /rys.5c/. Widzimy, że dwa klocki wyciągają sprężynę o długość dwa razy większą niż jeden klocek. Ale dwa jednakowe klocki są niewątpliwie dwa razy cięższe niż jeden klocek. Powiadamy zatem, że wydłużenie, którego doznaje sprężyna, jest tem większe, im większy jest ciężar, który na nią działa. Wiedząc, o ile milimetrów wydłuża się sprężyna pod działaniem ciężaru pewnego ciała A, mogę przekonać się, czy ciężar innego ciała B jest 2, 3, 4 .... razy większy /lub mniejszy/ niż ciężar A; zawieszam w tym celu B na sprężynie i porównywam wydłużenie z owem wydłużeniem, które sprawił ciężar A. Przyrząd przedstawiony na rys.5-ym może więc służyć do porównywania pomiędzy sobą ciężarów czyli do ważenia. Na tej zasadzie polega urządzenie t.zw. wag sprężynowych /rys.6/.


rys. 6

§ 8. Mierzenie sił. Jednostka siły.

Sprężynę wyobrażoną na rys.5-ym ciągnę ręką;i przypuśćmy, że sprężyna wyciągnęła się o 8 mm. Dobieram klocki drewniane lub inne ciężarki w taki sposób, ażeby one, umocowane pod sprężyną, wydłużyły ją również o 8 mm. Siła, którą wywierałem na sprężynę, była zatem równa ciężarowi tych klocków czy ciężarków. Tym sposobem mogę porównywać rozmaite siły z ciężarem pewnego ciała, czyli mogę mierzyć siły. Z tego względu sprężynę z rys. 5-go albo wagę sprężynową możemy nazywać siłomierzem.

Ażeby wynik porównywania sił z ciężarem był dla wszystkich zrozumiały, wybieramy za jednostkę siły ciężar znany, który łatwo odtworzyć.- Przyjmujemy ciężar 1 litra wody za jednostkę siły, nazywamy go ciężarem 1 kilograma /kg/. Jedną setną część ciężaru 1 kilograma nazywamy ciężarem dekagrama /dkg, w skróceniu deka/, jedną tysięczną część nazywamy ciężarem grama /g/.

Odmierzanie różnych objętości wody byłoby kłopotliwe przy mierzeniu sił; powszechnie w użyciu są tedy ciężarki, wykonane zwykle z mosiądzu, które mają ciężar taki sam, jak 1 cm^3 wody /gram/, lub 1 l wody /kilogram/, lub części albo wielokrotności tych jednostek.

Zadania.

1. Ile razy większy jest ciężar dekagrama niż ciężar grama ?
2. Miligram jest tysięczną częścią grama; ile miligramom równoważny jest kilogram ? dekagram ? gram ?
3. Pewna sprężyna wydłuża się o 2 cm pod działaniem ciężaru 1 grama. Pod działaniem mojej ręki sprężyna ta wyciągnęła się o 1/2 cm. Jak znaczną siłę wywierałem ręką ? Jeżeli wyciągnąłem ją innym razem o 3 cm, jak znaczną siłą działałem na sprężynę ?
4. Wymienić siły, które się równoważą, gdy jakieś ciało leży na stole.
5. Zawieszamy na sprężynie /rys.5/ po kolei: 1 gram, 2 gramy, 3 gramy, 4 gramy. Co dostrzegamy ?

§ 9. Środek ciężkości.

Weźmy drążek drewniany /rys.7/, wykręćmy w jego środku kółeczko C a na końcach uwiążmy jednakowe ciężarki G, G. Zawieśmy kółeczko na nitce lub na haczyku. Ująwszy nitkę lub haczyk, możemy trzymać drążek w równowadze t.j. tak, żeby nie przechylał się ani w jedną, ani w drugą stronę; możemy nawet, nie szkodząc równowadze, podnosić drążek ku górze. Dwa równe ciężary, działające na końce drążka, równoważą się tutaj z siłą naszych mięśni, działającą na środek drążka. Dzięki drążkowi równoważymy lub podnosimy ~~bezpośrednio~~ oba ciężarki G, G tak, jak gdybyśmy bezpośrednio do nich przyłożyli naszą siłę H. Możemy tedy zastąpić te dwa ciężarki G, G przez jeden dwa razy większy ciężarek F, wiszący w pośrodku drążka /rys.8./.

klisza jest

rys. 7

klisza jest

rys. 8

Siłę działającą na pewien punkt drążka wyobrażamy /na rysunku 8-ym i na innych rysunkach w tej książce/ za pomocą prostego odcinka, zakończonego strzałką. Kierunek odcinka wskazuje kierunek działania siły, długość zaś odcinka jest tem większa, im znaczniejsza jest siła, którą chcemy wyobrazić.

Przypuśćmy teraz, że drążek dźwiga cztery ciężarki G,G,G,G jak na rys.9-ym. Możemy zastąpić takie cztery ciężarki przez jeden cztery razy większy ciężarek F, wiszący w pośrodku, podobnie jak uczyniliśmy to przed chwilą w przypadku dwu ciężarków /rys.8./. Cztery siły G składają się zatem tutaj na siłę F, która je może zastąpić; taka siła F nazywa się wypadkową sił pierwotnych G,G,G,G.

klisza jest

rys. 9

§ 17. Prędkość stała i zmienna. Jednostka prędkości.

Pociąg, stojąc na stacyi, nie ma wcale prędkości. Kiedy wyrusza ze stacji, jedzie coraz prędzej t.j. nabiera coraz większej prędkości; ruch pociągu jest wówczas, jak mówimy, przyspieszony. Rozpędziwszy się należycie, pociąg ani nie przyśpiesza ani też nie zwalnia biegu; porusza się więc z prędkością stałą, czyli porusza się ruchem jednostajnym. Nareszcie, zbliżając się do następnej stacji, na której ma stanąć, pociąg zwalnia biegu, więc zmniejsza swą prędkość; tu znowu ruch pociągu jest niejednostajny, mianowicie jest zwolniony. Po wyruszeniu z pierwszej staji prędkość ruchu pociągu zwiększa się; pomiedzy stajami jest stała; w pobliżu drugiej staji zmniejsza się.

Jeśli pociąg, zupełnie rozpędzony i biegnący jednostajnie, przebywa kilometr w ciągu mintuy, przebędzie piętnaście kilometrów w ciągu kwadransa, sześćdziesiąt kilometrów w ciągu godziny. Czy powiemy, że porusza się z prędkością kilometra na minutę, czy też, że z prędkością sześćdziesięciu kilometrów na godzinę, będzie wszystko jedno, jeśli ruch jest jednostajny; wówczas bowiem prędkość jego jest stała. Zupełnie jest inaczej, jeśli ruch nie jest jednostajny. Gdy pociąg rozpędza się, nie jest wszystko jedno, czy zważamy drogę, przebytą w ciągu pierwszej minuty, czy drogę, przebytą w ciągu dziesiątej lub piętnastej minuty. W ciągu kwadransa pociąg przebywa oczywiście daleko dłuższą drogę, niż gdyby był się ciągle poruszał z prędkością, jaką miał w pierwszej minucie; albowiem prędkość ruchu zwiększa się co chwila.

Za jednostkę długości jest metr, jak jednostką czasu jest sekunda, podobnie jednostką prędkości jest pewna

prędkość, naprzykład prędkość 1 centymetra na sekundę / 1 cm/sek /. Jeżeli np. ~~ciało~~ jakieś ciało porusza się jednostajnie i przebywa drogę 60 cm w przeciągu 5 sekund, to w przeciągu jednej sekundy, przebywa 12 cm. Prędkość wynosi zatem 12 cm na sek; jest 12 razy większa od jednostkowej prędkości 1 cm na sek.

Zadania.

1. Ile kilometrów na godzinę, ile metrów na sekundę, wynosi prędkość pociągu, który przebywa drogę 15 kilometrów w przeciągu kwadransa ?
2. Ciało biegnie jednostajnie z prędkością 200 cm na sek. Jaką drogę przebędzie w przeciągu godziny ?
3. Prędkość w pewnym ruchu jednostajnym wynosi 250 cm na sek. Wyrazić tę prędkość w kilometrach na godzinę.
4. Jakiego czasu ciało potrzebuje na przebycie, drogi 2-ch kilometrów, gdy porusza się z prędkością stałą 20 cm na sek ?

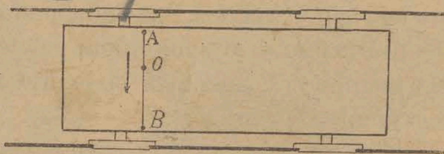
§ 18. Ruch, złożony z dwóch ruchów.

Można jednocześnie chodzić po pokoju i poruszać ręką. Ręka uczestniczy wówczas w ruchu całego ciała t.j. odbywa taki sam ruch postępowy, jaki odbywa głowa i tułów; ale oprócz tego odbywa ruch własny, zupełnie tak, jak gdybyśmy nie szli naprzód, lecz stali w miejscu. Mówimy, że ręka odbywa jednocześnie dwa ruchy; ruch postępowy całego ciała i ruch własny; lub też, że ręka wykonywa ruch, złożony z tych dwu ruchów.

Przypuśćmy, że siedzimy nieruchomo w wagonie, który toczy się po szynach. Względem wagonu nie zmieniamy miejsca; ściany wagonu i przedmioty w nim umieszczone wydają nam się nieruchome; gdyby nie turkot i wstrząśnienia, moglibyśmy sądzić, że nie jesteśmy wcale w ruchu. Ale skoro wyjrzymy przez okno, dostrzegamy, że poruszamy się, że uczestniczymy mianowicie w postępowym ruchu wagonu; dostrzegamy, że względem ziemi, względem drzew, względem domów przydrożnych jesteśmy w ruchu. Siedząc w wagonie nie widzimy jego ruchu, ale dostrzega go człowiek, który stoi koło toru kolejowego.

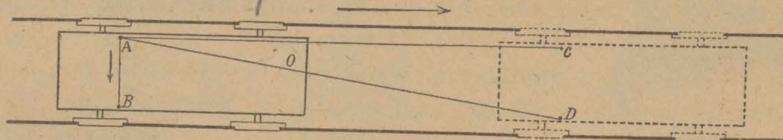
Przypuśćmy, że ktoś po wagonie chodzi wszerz, n. p. od okna do okna. ~~Przypuśćmy~~, że rys. 2 przedstawia widok tego wagonu, widziany z góry, czyli innemi słowy widok wagonu, jak gdyby przeciętego płaszczyzną poziomą. Niechaj O będzie miejscem człowieka w wagonie.

10-ty LR



Rys. 20

Jeśli wagon jest w spoczynku, wtedy drogą, po której ruch człowieka się odbywa, jest prosta $A\ B$. Ale jaką drogę odbywa człowiek, jeśli chodzi wszerz po wagonie, biegnącym po szynach (rys. 3.)? Człowiek odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy: 1. chodzi po wagonie wszerz, jak chodziłby po nieruchomym wagonie; 2. posuwa się naprzód wraz z wagonem i ze wszystkiem, co wogóle znajduje się w wagonie. Dzięki pierwszemu ruchowi człowiek porusza się on w ciągu sekundy od A



Rys. 21

do B (rys. 20); byłaby to jego droga, gdyby wagon stał w miejscu. Ale wagon w ciągu tej sekundy posuwa się naprzód o długość AC; z nim razem cała droga AB ~~jak gdyby~~ niejako posuwała się naprzód również o długość AC. Zatem rzeczywistą drogą czło-

wieka jest linją AD. Posuwając w myśli człowieka od A do B wzdłuż linji AB a jednocześnie posuwając całą linję AB naprzód wzdłuż kierunku AC, zrozumiemy natychmiast, że człowiek posuwa się ostatecznie po drodze AD. Powiadamy zatem: droga AD jest wypadkową drogą, która zastępuje dwie drogi składowe, razem wzięte: AB i AC.

Ażeby znaleźć drogę wypadkową, która może zastąpić dwie dane drogi składowe, należy zbudować równoległobok na drogach składowych; przekątnia tego równoległoboku wyobraża drogę wypadkową co do długości i kierunku.

Widzimy, że zasada składania dróg, którą tutaj poznaliśmy, jest podobna do zasady równoległoboku sił, znanej nam już z § 11-go, nazywamy ją podobnie zasadą równoległoboku dróg, albo jeszcze: zasadą równoległoboku prędkości.

§ 19. Bezwładność.

Wiemy z § 5-go, że ciało spoczywające nie zaczyna się poruszać, dopóki siła z zewnątrz przyłożona, nie zmusi go do wyjścia ze spoczynku.

Przypuśćmy teraz, że ciało już znajduje się w ruchu. Przyglądając się uważnie zachowywaniu się ciał będących w ruchu, spostrzegamy, że ciało, które porusza się, nie zatrzymuje się samo przez się; że trwa w ruchu nabytym, dopóki go nie powstrzyma siła z zewnątrz przyłożona. Ciało rozpędzone nie zatrzyma się, ani nie zwolni biegu, ani nawet nie zboczy od pierwotnego swego kierunku, jeżeli nie zmusza go do tego siła obca, zewnętrzna. Taką powszechną własność ciał nazywamy ich bezwładnością. Powiadamy, że wszystkie znane nam ciała są bezwładne.

Jeżeli zatem na pewne ciało nie działają żadne siły /albo też, jeżeli siły działające na nie równoważą się wzajemnie ze sobą/, wówczas ruch odbywa się mocą samej tylko bezwładności. W takim ruchu prędkość jest stała i kierunek ruchu jest niezmienny, a zatem: ruch przez bezwładność jest jednostajny i odbywa się w kierunku linji prostej.

Przykłady bezwładności spotykamy codziennie. Wyskakując z biegnącego powozu, czujemy, że ciało nasze dąży do zachowania [z nabytego] ruchu. Gdy stoimy w biegnącym wagonie, a pociąg nagle zwalnia, stopy nasze, oparte o podłogę, zwalniają swój bieg, ale reszta ciała przez bezwładność pochyla się naprzód. ~~Wprost~~ przeciwnie, jeśli stoimy w wagonie nieruchomym, a pociąg nagle rusza, przechylamy się wstecz ~~przez bezwładność~~. Z podobnego powodu gmachy i budynki pękają i rozpadają się na skutek trzęsienia ziemi; fundamenty poruszają się nagle, reszta zaś budowli trwa przez bezwładność w poprzednim spoczynku. Korzystamy z bezwładności, gdy strząsamy z drzewa dojrzałe owoce; przez bezwładność długi kij drewniany łamie nam się w ręku, gdy, trzymając jeden koniec, próbujemy nagle wywijać ~~nim~~ [kijem] bardzo prędko. Jeżeli, znajdując się w wagonie, upuściliśmy pieniądz na podłogę, wówczas spadnie on do stóp naszych, bez względu na to, czy wagon biegnie, czy jest zatrzymany. To dowodzi, że moneta nawet i wtedy, kiedy spada swobodnie w powietrzu (kiedy przeto nic jej nie ciągnie ani nie popycha), zachowuje ruch, jaki miała, zanim została puszczona, mianowicie ruch wagonu. Płynąc czółnem, wyrzućmy piłkę pionowo do góry; nie wpadnie ona do wody poza czółnem, lecz wróci do naszych rąk. A zatem piłka podczas swej drogi w powietrzu zachowuje ruch, jaki miała, zanim została wyrzucona do góry, t. j. ruch czółna.

§ 20. Tarcie i jego wpływ na ruch ciał.

Mogłoby wydawać się na pozór, że ciała nie zawsze zachowują się tak, jk gdyby były bezwładne /§ 19./. Wprowadzone w ruch, ciała niekiedy zatrzymują się; napozór same przez się ustają. Wózek, popchnięty po zwykłej ścieżce, niebawem wstrzymuje się; rozkołysana huśtawka uspokaja się rychło; koło osadzone na osi, wprawione w ruch obrotowy, wkrótce przestaje się kręcić. Ale w tych wszystkich przypadkach ciała nie są wcale swobodne od działania sił zewnętrznych, nie poruszają się zatem wyłącznie przez własną bezwładność. We wszystkich tych przypadkach ciała doznają tarcia. Koła wozu doznają tarcia od piasku lub żwiru ścieżki; sznury huśtawki trą się o haki, na których są zawieszone; oś koła trze się o łożysko, w którem się kręci. Żwir, piasek, ziemia, drzewo, sukno są chropowate, są szorstkie; powierzchnia takich ciał jest pełna drobnych wklęsłości i wyniosłości, jest "wyboista". Łatwo zrozumieć, że ciało, które podczas ruchu styka się z taką powierzchnią, musi doznawać przeszkody, oporu i tarcia.

Im bardziej zmniejszymy tarcie, które sprzeciwia się ruchowi rozpędzonego ciała, tem ściślej prawo bezwładności okaże się spełnione /§ 19./. Po gładkich szynach wagon biegnie daleko mocą bezwładności; podobnie sunie łyżwierz po równym lodzie. W należycie wyoliwionem łożysku oś koła doznaje słabego tarcia, koło zatem, wprawione w ruch obrotowy, kręci się długo. Po gładkiej posadzce kula potoczy się dalej niż po suknie; po lodzie wózek dalej pobiegnie niż po żwirze.

Czemu tak trudno przesunąć skrzynię po ziemi lub po podłodze ? Skrzynia jest ciężka; ale siła ciężkości działa na dół pionowo /§ 6/, a zatem nie sprzeciwia się wcale /por.§ 12/ poziomemu ruchowi. Trudno jest posunąć

skrzynię po podłodze z powodu tarcia tego ciała o powierzchnię podłogi. Rzeczywiście, natrafiamy na całkiem inny opór, gdy chcemy wóz podnieść, niż kiedy próbujemy go ciągnąć. W pierwszym razie mamy do czynienia z ciężarem wozu, w drugim razie - z tarciem kół o ziemię, z tarciem osi o panowki.- Kamień doznaje znacznego tarcia o sukno, mniejszego o szkło lub o lód; tymczasem, czy kamień leży na suknie, na szkle czy na lodzie, jego ciężar jest oczywiście ten sam.

Widzieliśmy, że tarcie bywa nieraz przeszkodą w ruchu; lecz właśnie ta przeszkoda bywa nam często pożyteczna a nawet niekiedy wprost nieodzowna. Nie możemy chodzić bezpiecznie po drodze bardzo śliskiej, od której stopy nie doznają dostatecznego tarcia; podczas wypraw górskich niema też nic niebezpieczniejszego, niż posuwanie się po powierzchni olbrzymich brył lodu, zwanych lodowcami. Bez pomocy tarcia nie moglibyśmy wcale trzymać przedmiotów w ręku; bez współdziałania tarcia żaden gwóźdź nie trzymałby się w ścianie; stoły, szafy, krzesła nie stałyby w miejscu, sunęłyby raczej po podłodze za lada pobudką. Gdyby nie tarcie, koła lokomotywy kręciłyby się "luźno" i pociąg nie posuwałby się wcale naprzód po szynach. Gdyby nie tarcie, każda z naszych rzek byłaby wyżłobiła oddawna olbrzymią pod dnem swojem przepaść; każda z naszych gór byłaby się rozsypała oddawna.

§ 21. Bezwładny opór ciał.

Jeżeli ciało znajduje się w spoczynku i próbujemy je poruszyć, czujemy wówczas, że ono opiera się naszemu działaniu. Jeżeli zaś ciało już jest w ruchu, wówczas opiera się każdemu usiłowaniu powstrzymania go w biegu. Ciała odpowiadają więc pewnym oporem na każde działanie, zmierzające do zmiany ich spoczynku na ruch lub ich ruchu na spoczynek. Ten opór nazywamy bezwładnym.

Bezwładny opór ciał ~~ziemskich~~ objaśniamy sobie bardzo łatwo na mocy zasady działania i przeciwdziałania. Wiemy istotnie z § 4-go, że każdemu wywieraniu siły, czyli działaniu, towarzyszy zawsze przeciwdziałanie, t.j. wywieranie siły przeciwnej na ciało, które siłę wywiera. Opór bezwładny, którego doznajemy od ciał, jest właśnie przeciwdziałaniem tych ciał, wywieranem na nasze mięśnie.

Bezwładny opór ciał jest nam znany z codziennego doświadczenia. Wyobraźmy sobie spore koło rozpędzone, albo kamień młyński; gdy takie ciało jest osadzone na osi i kręci się o ile podobna bez tarcia, próbujmy wyprowadzić je ze spoczynku w ruch; albo też próbujmy zatrzymać je, gdy zostało wprawione w ruch obrotowy. Sama ostrożność, z jaką należy przedsiębrać wszelką próbę podobną, świadczy, jak wielki bywa opór bezwładny ciała, które chcemy ruszyć lub wstrzymać. Chcąc powstrzymać bieg rozpędzonego pociągu, posługujemy się silnemi hamulcami, tylko potężne ich tarcie o koła wagonów jest w stanie zniweczyć rozpęd, którym biegnący pociąg jest ożywiony.

Przypuśćmy, że na stole leży ciało dość ciężkie, np. 500-gramowy ciężarek. Przywiązawszy nić do ciężarka, ujmujemy jej swobodny koniec w rękę i nagłem pociągnięciem do góry próbujemy podnieść ciężarek. Nitka urywa się; zapytujemy: dlaczego? Nitka nie zdołała widocznie wytrzymać działania sił, które podczas szarpnięcia były w niej czynne. Ale wiemy przecież, że nitkę możemy tylko wówczas rozerwać, gdy ciągniemy jej końce w strony przeciwne. A zatem w nitce, w chwili szarpnięcia, musiały działać dwie siły. Jedną, skierowaną do góry, było nasze pociągnięcie; temu działaniu ciężarek sprzeciwił się, przeciwstawił mu opór bezwładny, skierowany na dół. Takie były dwie siły, które rozerwały nić.

§ 22. Ciała bywają mniej lub bardziej masywne.

Każde ciało przeciwstawia opór bezwładny działaniu siły z zewnątrz przyłożonej; ale w rozmaitych ciałach ten opór objawia się rozmaicie. Przypuśćmy naprzykład, że na równej, gładkiej drodze albo na szynach znajduje się wózek. Jeżeli wózek jest pusty, łatwo go poruszyć lub już poruszony zatrzymać; lecz jeżeli naładowano go kamieniami lub cegłą, wprawienie w ruch wózka przychodzi z trudnością, zatrzymanie rozpędzonego wymaga wówczas znacznego wysiłku. Powiadamy, że wózek naładowany jest masywny, że ma masę dużą; o pustym wózku mówimy, że masa jego jest znacznie mniejsza niż masa pełna. Masa ciała jest zatem miarą oporu bezwładnego, który ono przeciwstawia działającej na nie sile.

Wielkie wrota żelazne są masywne; drzwiczki drewniane w porównaniu do nich są mało masywne. Koło rozpędowe w maszynie parowej jest ciałem masywnem, kółko zaś w zegarku jest stosunkowo mało masywne.

Wiemy, że wózek naładowany jest znacznie cięższy niż pusty, że masywne wrota są cięższe niż lekkie ~~xxxx~~ drzwiczki; że wielkie koło jest cięższe niż małe kółeczko. A zatem duża masa łączy się z dużym ciężarem, mała masa - z małym ciężarem. Pomimo to jednak masa a ciężar - są to całkiem odmienne od siebie własności ciał. Jeżeli chcemy poruszyć wrota, kręcące się w zawiasach; jeżeli staramy się zatrzymać obrót rozpędzonego kamienia młyńskiego, mamy do czynienia z oporem bezwładnym tych ciał a zatem z ich masą. Gdybyśmy chcieli wrota leżące na ziemi podnieść do góry, lub kamień młyński udźwignąć, mielibyśmy do czynienia z ciężarem tych ciał.

§ 22. Ciała bywają mniej lub bardziej masywne.

Każde ciało przeciwstawia opór bezwładny działaniu siły z zewnątrz przyłożonej; ale w rozmaitych ciałach ten opór objawia się rozmaicie. Przypuśćmy naprzykład, że na równej, gładkiej drodze albo na szynach znajduje się wózek. Jeżeli wózek jest pusty, łatwo go poruszyć lub już poruszony zatrzymać; jeżeli naładowano go kamieniami lub cegłą, wprawienie w ruch wózka przychodzi z trudnością, zatrzymanie rozpędzonego wymaga również znacznego wysiłku. Powiadamy, że wózek naładowany jest masywny, że ma masę dużą; o pustym wózku mówimy, że masa jego jest znacznie mniejsza niż masa pełnego. Masa ciała jest zatem miarą oporu bezwładności, który ono przeciwstawia działającej na nie sile.

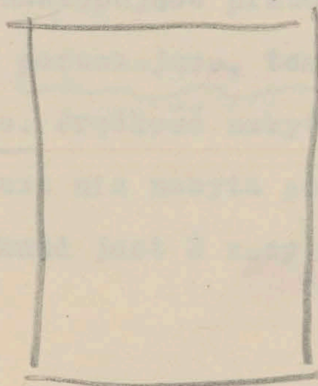
Wielkie wrota żelazne są masywne; drzwiczki drewniane w porównaniu do nich są mało masywne. Koło rozpędowe w maszynie parowej jest ciałem masywnem. Kółko zaś w zegarku jest stosunkowo mało masywne.

Wiemy, że wózek naładowany jest znacznie cięższy niż pusty, że masywne wrota są cięższe niż lekkie drzwiczki; że wielkie koło jest cięższe niż małe kółeczko. A zatem duża masa łączy się z dużym ciężarem, mała masa - z małym ciężarem. Łączmy tu jednak masę z ciężarem - są to zupełnie odmienne od siebie własności ciał. Jeżeli chcemy poruszyć wrota, kręcące się w zawiasach; jeżeli staramy się zatrzymać obrót rozpędzonego kamienia szlifierskiego, mamy do czynienia z oporem bezwładnym tych ciał a zatem z ich masą. Gdybyśmy chcieli wrota lekko na zawiasach podnieść do góry, lub kamień szlifierski wydźwignąć, mielibyśmy do czynienia z ciężarem tych ciał.

Przypuśćmy, że na szynach kolejowych stoi ~~wózek~~ wózek zakryty, którego zawartość nie jest nam znana. Ażeby przekonać się, czy wózek jest pełny czy pusty, co każdy uczyni ? potrąci ów wózek albo go popchnie. Wiemy istotnie, że wózek pusty, gdy zostanie popchnięty, potoczy się stosunkowo daleko; wózek naładowany, który równie mocno popchnęliśmy, poruszy się leniwie i zatrzyma się wkrótce. Pod działaniem tej samej siły ciało masywne nabywa stosunkowo małej prędkości, którą tarcie niebawem niweczy; ciało mało masywne nabywa prędkości znacznie większej, która nie wyczerpuje się tak rychło przez tarcie.

§ 23. Jak poruszają się ciała pod działaniem sił.

Chcemy teraz zbadać dokładniej, jak poruszają się rozmaite ciała pod działaniem rozmaitych sił. W tym celu przenosimy dotychczasowe nasze spostrzeżenia z toru kolejowego na stół pokoju szkolnego; powtarzamy te doświadczenia, zmniejszając ich skalę o odbywając je o ile można dokładnie.



rys. 22

Na poziomym, gładkim stole/lub lepiej na małych szynach/ znajduje się wózek W, który porusza się zatem o ile podobna bez tarcia. Wzdłuż drogi wózka sporządzono skalę, z metryczną podziałką. Siły pociągowej dostarcza ciężar drobnego ciężarka P, umieszczonego, jak pokazuje rysunek, w lekkiej szalce; ciężar ten działa na wózek za pośrednictwem nici, przerzuconej przez bloczek B.

Szalkę wraz z ciężarkiem P trzymamy njprzód nieruchomo w ręku, następnie puszczamy go swobodnie, nie popychając ani trącając w żadnym kierunku. Ciężarek P zaczyna opadać i ciągnie za sobą wózek. Podsuwając zastawkę Z, zatrzymujemy szalkę w chwili, kiedy od początku ruchu upłynęła 1 sekunda. Ciężar P działał zatem na wózek W przez czas 1 sekundy. Wóze, rozpędzony tem działaniem, w końcu zaś sekundy nagle uwolniony od niego, porusza się dalej przez bezwładność, ruchem jednostajnym, z taką prędkością, jkiej nabył przez czas tej 1 sekundy. Pilnie zauważamy tę prędkość w ruchu jednostajnym; żeby ją zmierzyć, odczytujemy drogę, którą wózek przebywa w ciągu jeszcze dalszej /drugiej/ sekundy.

Powtórzmy teraz doświadczenie poprzednie, z tą różnicą, że pozwalamy ciężarowi P działać na wózek W przez czas 2 sekund; poczem znów powstrzymujemy szalkę; spostrzegając drogę przebytą w ruchu jednostajnym w ciągu dalszej /trzeciej/ sekundy, mierzymy prędkość nabytą przez wózek w czasie 2 sekund. Tak samo mierzymy prędkość, której wózek nabywa, gdy pozostaje pod działaniem ciężaru przez czas 3, 4, 5 ..... sekund. Przekonamy się w ten sposób, że ~~mak~~ następujące prawo jest prawdziwe: Im dłużej działała siła poruszająca, tem większa jest prędkość, nabyta przez ciało. Prędkość nabyta po upływie 2 sekund jest dwa razy większa niz nabyta po upływie 1 sekundy: nabyta w ciągu 3 sekund jest 3 razy większa niż nabyta po upływie 1 sekundy itd.

§ 24.Przyspieszenie.

Przekonaliśmy się w artykule poprzedzającym, że pod działaniem siły stałej /nie zmieniającej się/ prędkość poruszającego się ciała coraz bardziej się powiększa. Od początku ruchu do końca 1-ej sekundy przybywa ciału tyle

prędkości, ile od końca 1-ej do końca 2-ej sekundy; tyleż jej przybywa od końca 2-ej do końca 3-ej sekundy itd. Innemi słowy: pod działaniem siły niezmiennej przybywa ciału w każdej sekundzie jednakowo wiele prędkości.

Jak wiadomo z § 17-go, ruch, w którym prędkość coraz bardziej się zwiększa, nazywa się przyspieszonym. Przyspieszeniem takiego ruchu nazywamy właśnie przybytek albo powiększanie się prędkości w jednej sekundzie. Powtarzamy zatem wypowiedziane przed chwilą twierdzenie w sposób następujący: kiedy ciało porusza się pod wpływem siły niezmiennej, ruch jego jest przyspieszony, lecz przyspieszenie ruchu jest niezmienne /czyli wciąż to samo/.

Przypuśćmy naprzykład, że wózek W /rys.22./ ma ciężar 550 gramów, mały zaś ciężarek P ma ciężar 10 gramów. Prędkość, nabyta przez wózek po upływie 1 sekundy od początku ruchu, wyniesie około 20 cm na sek; prędkość nabyta po upływie 2 sekund wyniesie około 40 cm na sek; prędkość nabyta po upływie 3 sekund wyniesie około 60 cm na sek itd.- Przyspieszenie wynosi zatem 20 cm na sek. w każdej sekundzie; albowiem 20 - 0 = 20; 40 -20 = 20; 60 -40 = 20 itd. Przyspieszenie jest więc stałe.

§ 25. Przyspieszenie ruchu zależy od siły działającej

Powtarzamy doświadczenia, opisane w artykułach poprzednich /§§ 23 i 24/, kładąc na szalkę coraz znaczniejsze ciężarki. Zamiast 10-gramowego ciężarka /jak w § 24-ym/ kładziemy np. 20-gramowy, później 30-gramowy itd. Mierzymy prędkości nabyte przez wózek w końcu pierwszej sekundy

od początku ruchu; albo też nabyte w końcu drugiej sekundy itd. Stąd otrzymujemy przyspieszenia. Przekonywamy się zawsze, że przyspieszenie ruchu jest tem większe, im znaczniejsza jest siła, która działa na ciało.

Wózek 500-gramowy W nabywał, w czasie pierwszej sekundy od początku tuchu, prędkości 20 cm na sek. pod działaniem siły P = 10 gr. Pod działaniem siły P = 20gr nabędzie zatem, w czasie pierwszej sekundy od początku ruchu, prędkości 40cm na sek; pod działaniem siły P = 30 gr. prędkości 60 cm na sek.

Albo innemi słowy: pod działaniem siły P = 10 gr przyspieszenie wózka W wynosi stale 20 cm na sek. w każdej sekundzie. Pod działaniem siły P = 20 gr przyspieszenie wyniesie 40 cm na sek.w każdej sekundzie; pod działaniem siły P = 30 gr wyniesie 60 cm na sek. w każdej sekundzie. Przyspieszenie ruchu jest wprost proporcyonalne do siły działającej, czyli zmienia się w tym samym stosunku jak siła.

§ 26.Do przyspieszenia ruchu dostosowany jest zawsze opór bezwładny.

Nagłem szarpnięciem do góry próbowaliśmy w § 21-ym podnieść ciężarek kilkuset-gramowy. Ta próba nie powiodła się, ponieważ urwała się nić, za której pośrednictwem pociągnęliśmy ciężarek. Spróbujmy teraz poruszyć ciężarek łagodnie, ciągnąc swobodny koniec nici do góry ostrożnie, stopniowo i oględnie wzmagając wysiłek. Podnosimy wówczas ciało mniejszym wysiłkiem niż w razie nagłego szarpnięcia. Siła, której użyliśmy, była nieznaczna, opór bezwładny ciężarka był również niewielki; dlatego w tym razie nitka nie zerwała się wcale.



Uwiążmy ciężarek C na nici A i zawieśmy go u sufitu. do dolnej powierzchni ciężarka C przywiążmy drugą nić B /rys.23/, taką samą jak A. Jeżeli szarpniemy mocno nić dolną B, ta nić B przerywa się; ciężarek C skutkiem bezwładnego oporu zachowywa się tak jak gdyby był przytwierdzony do sufitu. Jeżeli jednak pociągniemy nić B ku dołowi ostrożnie, łagodnie wzmagając ciągnienie, urywa się wówczas nić górna A; łatwo to zrozumieć, zważywszy, że A jest wyprężona przez działanie ciężaru C, od czego nić B oczywiście jest wolna.

Lecz czemże różni się nagłe szarpnięcie od ostrożnego, łagodnego ciągnienia ? Nagłe szarpnięcie usiłuje wzbudzić ruch gwałtownie przyspieszony, ruch, w którym prędkość powiększa się nadzwyczaj raptownie. Łagodne ciągnienie wywołuje, przeciwnie, ruch słabo przyspieszony, t.j. ruch, w którym prędkość wzmaga się z czasem nieznacznie. Powiadamy zatem: jeżeli chcemy poruszyć ciało nagle czyli raptownie, wówczas przyspieszenie, które usiłujemy wywołać, jest duże; zatem i siła której użyć musimy, jest duża /§ 25/; opór bezwładny ciała jest wówczas także duży. Jeżeli zaś chcemy poruszyć ciało łagodnie, przyspieszenie jego jest małe, siła przez nas użyta jest mała, opór bezwładny ciała również jest mały.

§ 27. Masa ciała.

Urozmaicamy w inny sposób doświadczenie opisane w § 23-im. W wózku W umieszczamy najpierw jeden żelazny klocek, następnie dwa takie same klocki, trzy takie same itd. Powtarzamy za każdym razem pomiary, które wykonywaliśmy

w § 24-ym. Przekonywamy się, że przyspieszenia, które wózek W okazuje /pod działaniem tej samej siły/ są tem mniejsze, im więcej klocków umieściliśmy w wózku. Ale dwa jednakowe klocki żelazne są 2 razy masywniejsze niż jeden czyli mają 2 razy większą masę /zob.§ 22/. Powiadamy: przyspieszenia, które okazuje ciało pod działaniem tej samej siły, są tem mniejsze, im masa ciała jest większą.

Umieszczamy w wózku W /rys.22/ najpierw ołowiany klocek, następnie żelazny /tej samej objętości/, potem kamienny, szklany, drewniany, korkowy. Wykonawszy znane nam doświadczenia i pomiary, przekonywamy się, że wózek naładowany ołowiem okazuje najmniejsze przyspieszenie, klocek zaś wyrobiony z korka okazuje przyspieszenie największe. Ołów w tej samej objętości ma więc większą masę niż żelazo, żelazo większą niż kamień itd.; najmniejszą masę w tej samej objętości ma korek.

Powtórzmy doświadczenie, które wykonaliśmy poprzednio /§ 4/ przy pomocy magnesu i kawałka miękkiego żelaza. Jeżeli masa kawałka żelaza jest niewielka, mniejsza niż masa magnesu, spostrzeżemy bez trudności, że żelazo w ruchu ku magnesowi nabywa prędkości większych niż magnes w ruchu ku żelazu; że zatem żelazo ma większe przyspieszenie. Siły zobopólnie wywierane /przez magnes na żelazo i przez żelazo na magnes/ są w istocie rzeczy równe sobie; przyspieszenia ciał są zatem w stosunku odwrotnym do ich mas.

Powracamy jeszcze raz do doświadczeń czynionych przy pomocy wózka /rys.22/. Przypuśćmy, że chcemy nadać wózkowi zawsze to samo przyspieszenie, bez względu na to, jakie ciało znajduje się w wózku. Musimy w takim razie działać na wózek siłą największą wówczas, gdy on jest

naładowany ołowiem; najmniejszą zaś siłą, gdy na wózku leży klocek korkowy. Jeżeli przyspieszenie ruchu ma być to samo, tedy duża masa wymaga działania znacznej siły, mała zaś masa działania siły słabej.

§ 28. O mierzeniu mas.

Wyobrażamy sobie dwa ciała: A i B. Przypuśćmy, że wytworzenie w ciele B pewnego wiadomego przyspieszenia /naprzykład 20 cm na sek w każdej sekundzie/ wymaga działania siły 2 razy większej niż wytworzenie takiego przyspieszenia w ciele A. Na zasadzie twierdzenia podanego w zakończeniu § 27-go powiadamy wówczas: masa ciała B jest 2 razy większe niż masa ciała A. Jeżeli masę A obraliśmy za jednostkę masy, tedy zmierzyliśmy tym sposobem masę ciała B; otrzymaliśmy dla tej masy liczbę 2.

Za jednostkę masy wybieramy masę jednego litra wody, nazywamy ją masą kilograma /albo krótko kilogramem/. Masa 1 centymtera sześciennego wody jest więc równa masie 1 grama.

Powyższe określenie wymaga pewnego uzupełnienia, które podamy w czwartym rozdziale /§ 139./

Porównawszy masę jakiegokolwiekbądź ciała, w sposób przed chwilą wskazany, z masą kilograma lub grama, możemy zmierzyć masę tego ciała.

§ 29. Zasady Dynamiki.

Nauka o zależności ruchu ciał od działania sił nazywa się Dynamiką. W artykułach poprzednich, począwszy od § 23-go, poznaliśmy najważniejsze prawa czyli zsady tej nauki. Możemy je streścić w kilku krótkich twierdzeniach:

Przyspieszenie, które ciało okazuje pod wpływem siły /czyli powiększenie się jego prędkości w ciągu sekundy/ jest tem większe, im siła jest większa; tem mniejsze, im masa ciała jest większa /§§ 25,27/.

§ 30. Jak ciała spadają. Przyspieszenie ciężkości.

Wiemy z § 6-go i z artykułów póżniejszych, że ciała, z któremi miewamy codzień do czynienia, są ciężkie, że ulegają działaniu siły ciężkości. To działanie jest stałe, niezmienne. Gdybyśmy zmierzyli ciężar danego ciała przy powierzchni ziemi, później na drugiem albo trzeciem piętrze wysokiego domu, albo u szczytu wieży kościelnej, nie znaleźlibyśmy różnicy. Ale nietylko wartość liczbowa tej siły jest niezmienna; kierunek jej jest również niezmienny; siła ciężkości działa zawsze w kierunku pionowym /§ 6/.

Wyobraźmy sobie jakieś ciało A, naprzykład małą kulę ołowianą. Poszczamy to ciało zupełnie swobodnie, ze znacznej wysokości nad ziemią. Ciało A biegnie ku dołowi; upłynie jednakże pewien czas, przypuśćmy kilka sekund, zanim ono dobiegnie do ziemi /§ 15/. Przez ten czas siła ciężkości działa na ciało A wciąż jednakowo: natężenie jej jest stałe, kierunek niezmienny. Stąd wynika, według § 23-go, że ciało A biegnie ku dołowi coraz prędzej; w każdej sekundzie prędkość jego powiększa się. Ów przybytek prędkości czyli jej zwiększenie w jednostce czasu nazywa się, jak wiadomo /§ 17/ przyspieszeniem. Zatem: ruch ciała pod działaniem siły ciężkości jest przyspieszony; ciało spadające okazuje, w ruchu ku dołowi, pewne przyspieszenie.

Wiemy istotnie, że z ławki lub krzesła możemy zeskoczyć bez szkody, ale skok z wysokości szafy albo pieca

mógłby być bardzo niebezpieczny. Szklanki, talerze i podobne przedmioty ulegają tem pewniej stłuczeniu, z im większej wysokości zostały upuszczone. To wszystko wskazuje, że prędkość, z jaką spadające ciało dobiega do ziemi, jest tem większa, im większa jest wysokość, z której ciało spada, to znaczy: im dłuższy czas upłynął od początku spadania.

Zapytujemy teraz: o ile powiększa się prędkość spadającego ciała w pierwszej sekundzie spadania ? o ile w drugiej? o ile w trzeciej itd. Ponieważ siła przyłożona do ciała /siła ciężkości/ działa jednakowo w pierwszej, w drugiej, w trzeciej itd. sekundzie, zatem, według § 24-go: prędkość ciała spadającego powiększa się jednakowo w każdej sekundzie spadania. Albo innemi słowy: przyspieszenie ciała spadającego jest to samo w pierwszej, w drugiej, w trzeciej itd. sekundzie spadania. To niezmienne przyspieszenie, które ciała mają podczas swobodnego spadania, nazywamy przyspieszeniem ciężkości.

§ 31. Przyspieszenie ciężkości jest jednakowe dla wszystkich ciał.

Zmierzono oddawna przyspieszenie ciężkości i sprawdzono, że ono rzeczywiście jest stałe podczas spadania, od pierwszej aż do ostatniej chwili ruchu ku dołowi. Ale czyniąc takie pomiary, przekonano się jeszcze o innej prawdzie. Istnieją dokoła nas rozmaite ciała; jedne są wyrobione z żelaza, inne z miedzi, z cyny, z ołowiu; jeszcze inne z drzewa, ze szkła, z gliny, z papieru, z kauczuki itd. Z czegokolwiek jest zrobione ciało, które spada, przyspieszenie ciężkości, które ono okazuje podczas spadania, jest jednakowe. Przyspieszenie ciężkości w spadaniu swobodnem

nie zależy od rodzaju /od składu chemicznego/ ciała. Mianowicie: jakiekolwiek jest ciało, prędkość jego swobodnego spadania wzrasta w każdej sekundzie prawie o 10 metrów na sekundę. Tyle zatem wynosi przyspieszenie ciężkości dla wszystkich ciał.

Gdy ciało swobodnie puszczone zaczyna spadać ku ziemi, ma prędkość równą zeru w początku ruchu, czyli w początku pierwszej sekundy. W początku drugiej sekundy ma prędkość blisko 10 m na sek.; w początku trzeciej sekundy ma prędkość niemal 20 m na sek. I tak samo dalej.

Dokładniejsza wartość przyspieszenia ciężkości wynosi w Polsce: 981 cm na sek. w każdej sekundzie.

§ 32. Opór powietrza. Spadanie w próżni.

Mogłoby się może wydawać, że nie wszystkie ciała spadając swobodnie, nabywają prędkości jednakowych, n. p. kamyk, moneta, kulka metalowa spadają widocznie prędzej, niż lekkie pióro lub skrawek papieru. Pamiętajmy jednakże, że spadanie, jakie dostrzegamy zwyczajnie, *odbywa się w powietrzu*; ciało, poruszające się w powietrzu, doznaje *oporu*. Powiewając wachlarzem lub arkuszem tektury, czujemy wyraźnie opór powietrza. Trzeba uwolnić ciała spadające od tego oporu, ażeby podlegały jedynie działaniu siły ciężkości.

H w czasie którego

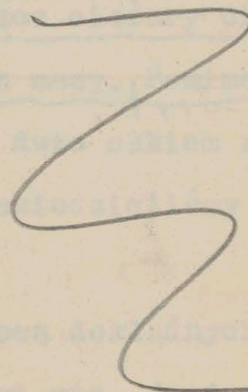
H które

| podczas spadania

W następującem doświadczeniu uwalniamy się od oporu powietrza. Z rury szklanej (rys. 26.), zaopatrzonej w kurek *B*, (który można zaśrubować na talerzu pompy pneumatycznej, zob. rozdz. II.), wyciągnięto powietrze: trzymamy ją kurkiem do góry tak, że kulka metalowa i piórko, (które włożono do rury przed jej zamknięciem), leżą przy końcu *A*. Przewracamy teraz rurę raptownie: widzimy, że kulka i piórko *spadają razem i jednocześnie dochodzą do spodu*. Otworzywszy kurek, wpuściwszy tym sposobem powietrze i powtarzając doświadczenie, przekonamy się, że piórko przybiega później do spodu rury, niż kulka. Dlaczego tak się dzieje? Dlaczego opór powietrza opóźnia bardziej spadanie piórka, niż spadanie kulki? Albowiem opór powietrza zależy od powierzchni ciała, nie od jego masy. Piórko ma większą powierzchnię, niż kulka, więc doznaje od powietrza większego oporu. Nadto, ponieważ masa piórka jest mniejsza, więc wpływ tego oporu na ruch piórka będzie większy.



Rys. 26 (24)



Powiadamy zatem, jak w § 31-ym: Wszystkie ciała spadają z jednakowem przyspieszeniem pod działaniem samej tylko siły ciężkości.

§ 33. Masa a ciężar.

Twierdzenia, podane w §§ 31 i 32-im wywołują w pierwszej chwili pewną nieufność. Klocek żelazny jest cięższy aniżeli drewniany /równy z nim objętości/. Na klocek żelazny działa więc siła większa; czemu nie przyspiesza go bardziej ? Ponieważ klocek żelazny ma nietylko większy ciężar, ale i większą masę /§§ 7, 22/. Większa masa wymaga właśnie działania większej siły, ażeby nabyć prędkości tej samej /por. § 27/.

Ciała mniej masywne i bardziej masywne spadają w próżnię jednakowo; to dowodzi, że na masywniejsze ciała działa ciężar większy, na mniej masywne - mniejszy. Innemi słowy: ciężary ciał są w takim samym stosunku, w jakim są masy tych ciał.

Za jednostkę ciężaru wybraliśmy w § 8-ym ciężar 1 litra wody; za jednostkę masy wybraliśmy w § 28-ym masę 1 litra wody. Skoro ciężary są w tym samym stosunku jak masy, więc powiadamy: ciało, które ma n.p. ciężar 5.2 kg, ma również i masę 5.2 kg. Liczby, wyrażające ciężary ciał są takie same jak liczby wyrażające ich masy. Pomimo to jednak ciężar ciała i masa ciała są to dwie całkiem różne i odrębne jego własności, jak to już powiedzieliśmy w § 22-gim.

Uczeni przekonali się, za pomocą dokładnych pomiarów, że przyspieszenie ciężkości nie jest całkiem niezależne od wzniesienia ciała nad ziemią; nie wspominaliśmy o tem w § 31-ym dla uproszczenia rozumowania. Udowodniono, że przyspieszenie ciężkości /a zatem

i ciężar ciał/ zmniejsza się wraz z oddaleniem się od powierzchni ziemi, jednakże nader powoli. Gdybyśmy mogli oddalić jakieś ciało od powierzchni ziemi o 800, 900 albo 1000 kilometrów, ciężar ciała w tej odległości okazałby się znacznie mniejszy niż przy powierzchni; gdy tymczasem masa ciała nie doznałaby zmiany.

Zadania i ćwiczenia.

1. Jakiej prędkości nabywa w końcu ruchu ciało, które spadało na ziemię w przeciągu pięciu sekund ?
2. Jaką masę posiada ciężar 2-kilogramowy ?
3. Czy moneta upuszczona spadnie na ziemię równocześnie z kawałkiem papieru, upuszczonym równocześnie z tej samej wysokości ?

§ 34. Ruch ciała wyrzuconego pionowo do góry.

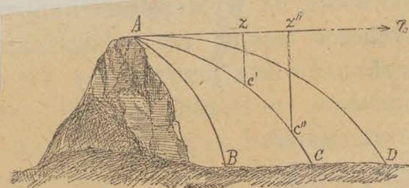
Gdy wyrzucamy jakiekolwiek ciało pionowo do góry, nadajemy mu tem samem pewną prędkość, skierowaną pionowo do gory. Gdyby siła ciężkości nie działała, ciało poruszałoby się przez bezwładność ze stałą prędkością /tą, którą mu nadaliśmy/ w kierunku pionowym do góry, bez konca.- Ale siła ciężkości działa nieustannie na ciało, od pierwszej zaraz chwili, w której zostało rzucone; działa mianowicie tak samo, jak działałoby na to ciało, gdyby ono było w spoczynku. Czy ciało biegnie do góry czy ku dołowi, siła ciężkości sprawia w niem ten sam skutek: wytwarza w niem przyspieszenie ku dołowi, jak powiedzieliśmy w § 30-ym. - Jaki ruch będzie się zatem odbywał? Ruch złożony /zob. § 18/ z dwu ruchów: a/ z ruchu jednostajnego do góry, wytworzonego przez pierwotne rzucenie b/ z ruchu przyspieszonego ku dołowi, sprawionego przez siłę ciężkości. Prędkość ciała, w jego ruchu ku górze będzie się stopniowo zmniejszała, aż w końcu dojdzie do zera. Ciało zatrzyma się na chwilę; w tej chwili znajdzie się u szczytu

swej drogi, w najwyższem położeniu nad ziemią. Od tej chwili zacznie spadać ku dołowi, tak samo, jak każde ciało puszczone swobodnie.

§ 35. Ruch ciała rzuconego w kierunku poziomym.

Podobnie mają się rzeczy, gdy rzucamy ciało w kierunku poziomym. Ciało odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy, czyli odbywa ruch złożony /§ 18/ z dwu ruchów: a/ z ruchu jednostajnego przez bezwładność, który wytworzyliśmy rzutem b/ z ruchu, sprawianego przez nieustanne działanie siły ciężkości.

Przypuśćmy naprzykład, że z wierzchołka wieży lub góry



Rys. 25

wystrzelono kulę armatnią w kierunku AZ (rys. 25). Gdyby nie było ciężkości, kula pobiegłaby w kierunku AZ i przez bezwładność musiałaby biedz w tym kierunku coraz dalej i dalej. Ale siła ciężkości pociąga kulę ku dołowi od pierwszej chwili. Dlatego zamiast do z [redacted] kula dochodzi do c', zamiast do z'', dochodzi do c'' i t. d.; jednem słowem odbywa drogę AC. Gdyby wystrzelono kulę z większą prędkością ([redacted] zapomocą silniejszego naboju), zdążyłaby ona pobiedz dalej w stronę AZ, zanim ciężkość zdołała ją pociągnąć tyleż ku dołowi, jak poprzednio; zatem w razie większej początkowej prędkości drogą kuli będzie n/p. AD. W razie mniejszej prędkości, przeciwnie, drogą jej będzie n/p. AB.

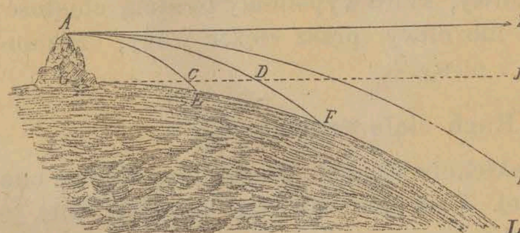
Ćwiczenie

Rzuć poziomo piłkę niezbyt mocno; przekonaj się, że droga, jaką ona zakreśli, jest podobna do tych, jakie są narysowane na rysunku.

§ 36. Bieg księżyca dokoła ziemi.

Wiemy, że ziemia nie jest płaska, lecz kulista; rozważmy więc jeszcze raz ruch kuli armatniej, pamiętając o tem. Na rys. 32. widzimy część ziemi $GEFL$. Gdyby ziemia była płaska, kula, wystrzelona z A, byłaby spadła, jak powiedzieliśmy, w C; istotnie zaś w padnie nie w C, lecz w E. Wystrzelona silniej, spadnie nie w D, lecz w F. Widzimy, że powierzchnia ziemi GL obniża się coraz bardziej pod poziom linii GJ podobnie, jak linie AE i AF obniżają się pod poziom AZ; lecz

linie *AE* i *AF* obniżają się raptowniej, więc dobiegają do powierzchni ziemi *GL*. Możemy *pomyśleć*, że wystrzelono kulę z wierzchołka *A* z taką prędkością, że pobiegnie ona po drodze *AK*, t. j. po drodze, która obniża się tak samo pod poziom *AZ*, jak *GL* obniża się pod poziom *GJ*. Możemy wyobrazić sobie, że wystrzelono kulę z taką prędkością.



Rys. 26

Środki, dotychczas znane, nie wystarczają na to, ażeby to rzeczywiście wykonać; lecz przypuśćmy, że wynaleziono sposób wyrzucania pocisków potężniejszy, niż armaty; wystrzelono więc kulę z wierzchołka *A* z tak znaczną prędkością, iż biegnie ona po drodze *AK*. Wówczas kula, chociaż ciągle spada, nie zbliża się do ziemi; o ile bowiem kula zniża się pod działaniem ciężkości, o tyle zniża się powierzchnia samej ziemi wskutek swej kulistości. Co zatem stanie się z kulą? oczywiście okrąży ziemię i powróci do *A* ze strony przeciwnej. Gdyby w któremś miejscu tej drogi, np. w *A*, siła ciężkości nagle przestała działać, kula pobiegłaby przez bezwładność po linii takiej, jak *AZ* w miejscu *A*, czyli po ~~t. zw.~~ *stycznej;* ale to być nie może; siła ciężkości jest czynna ciągle, bez przerwy. Więc działanie ciężkości polega na tem, że zakrzywia ona ustawicznie drogę kuli i tym sposobem nie pozwala jej odbiedz od ziemi; bezwładność zaś kuli krążącej nie pozwala jej uledz ciężkości i upaść na ziemię.

Wiemy, że siła ciężkości działa na najwyższych górach i w największych wysokościach, do jakich wzniesiono się balonami, Księżyc znajduje się jeszcze znacznie wyżej nad nami, znacznie dalej od ziemi; ale niewątpliwie i w księżycowej odległości ciężkość jeszcze jest czynna. Rozumiemy teraz, dlaczego księżyc obiega ziemię ~~wciąż~~ dokoła, ani nie spadając na nią, ani nie odbiegając od niej. *Księżyc krąży tak, jak kula, która pobiegła po drodze AK.* Ta sama siła przyciągania ziemi, która nadaje ciałom ciężar, która wypręża pion i zmusza upuszczone jabłko do spadania, ta sama siła nie pozwala księżycowi

odbiedz po ninii stycznej (jak AZ w miejscu A na rys. 32.); ta siła ustawicznie zakrzywia drogę księżyca i zmusza go tym sposobem do krążenia dokoła ziemi.

Jak powiedzieliśmy w § 33, im większą masę ma jakie ciało, tem większy ma ciężar. Ponieważ ciężar ciała jest to siła przyciągania, jaką ziemia wywiera na to ciało, więc powiadamy: siła przyciągania ciała przez ziemię jest tem większa, im większa jest masa tego ciała.

§ 37. Ciążenie powszechne.

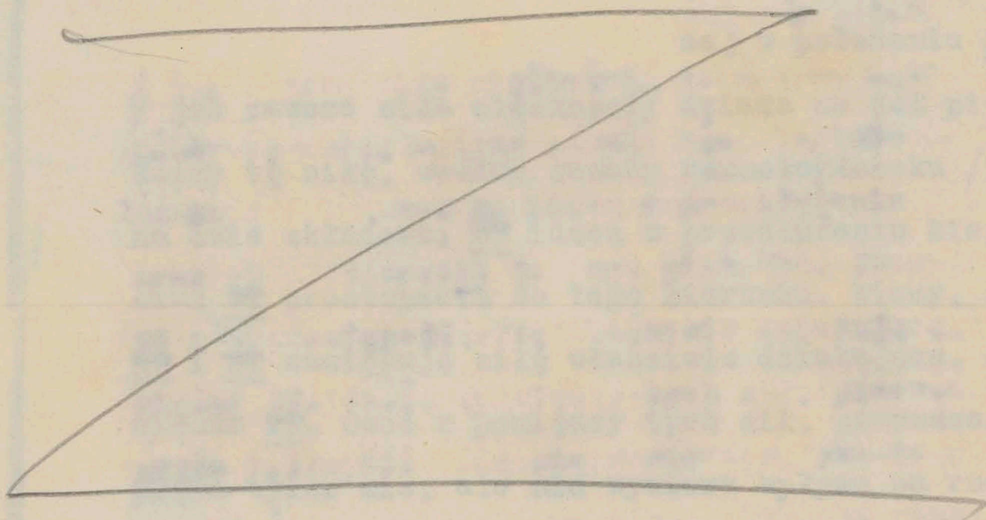
Jak księżyc dokoła ziemi, podobnie krąży ziemia dokoła słońca. Ziemia nasza utrzymuje się w odległości mniej więcej 149 milionów kilometrów od słońca i obiega w ciągu roku koło, zakreślone tak ogromnym promieniem; zatem odbywa tę drogę z prędkością blizko 30 kilometrów na sekundę. Ziemię, ożywioną tak znaczną prędkością, utrzymuje na wodzy przyciąganie słońca; albowiem przyciąganie działa pomiędzy słońcem a ziemią podobnie, jak pomiędzy ziemią a księżycem. Bryła słoneczna swem przyciąganiem utrzymuje na wodzy nie tylko ziemię, lecz również i niektóre inne ciała niebieskie, które widujemy nocą jako świetlne gwiazdy i które nazywamy *planetami*. Słońce przyciąga ziemię i planety, ustawicznie zakrzywia ich drogi i zmusza je tym sposobem do krążenia dokoła siebie, po drogach mniej więcej kołowych.

Dokoła niektórych planet biegną znowu księżyce, podobnie jak dokoła naszej ziemi; planety przyciągają swe księżyce; podobnie jak ziemia przyciąga swój księżyc, jak słońce przyciąga ziemię i planety. Co więcej: i księżyc przyciąga ziemię, i ziemia przyciąga słońce; i planety przyciągają słońce i są przyciągane przez swoje księżyce. *Przyciąganie pomiędzy ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne;* dlatego nazywamy je także *ciążeniem*. Ziemia przyciąga więc kamień i kamień przyciąga ziemię; przyciąganie z obu stron jest jednakowe; ale ta sama siła nadaje ciału prędkość tem mniejszą, im masa tego ciała jest większa (§ 27). Owóż masa ziemi jest miliony milionów razy większa, niż masa kamienia; dlatego, gdy oba ciała poczynają nawzajem spadać ku sobie, bieg ziemi ku kamieniowi jest miliony milionów razy powolniejszy, niż bieg kamienia ku ziemi.

Powiedzieliśmy, że przyciąganie pomiędzy dwoma ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne; jest to tylko przykład na ogólną zasadę (§ 12.), że z wszelkiem *działaniem*, z istnieniem wszelkiej wogóle siły połączone jest *przeciwdziałanie*, czyli istnienie siły równie znacznej, ale skierowanej wprost przeciwnie.

Pomiędzy wszystkiemi bez wyjątku ciałami na świecie istnieje takie wzajemne ciążenie. Jest ono tem większe, im większe są masy ciał, ciążących ku sobie. Wiemy, że ziemia przyciąga ku sobie kulę pionu; otóż kulę taką przyciąga ku sobie i góra, tylko słabiej niż ziemia, gdyż masa góry jest znacznie mniejsza, niż masa ziemi. To też w pobliżu góry pion nie wisi dokładnie pionowo, lecz odchyla się ku niej nieznacznie. Wyobraźmy sobie dwa kilogramy *A*, *B*, położone niedaleko siebie. Możemy być pewni, że one przyciągają się wzajemnie. Lecz siła ta jest tak nieznaczna, że odczuwać jej bezpośrednio nie możemy. Uczonym udało się wykazać (a nawet i zmierzyć) przyciąganie pomiędzy dwoma kilogramami zapomocą nadzwyczaj czułych przyrządów. Możemy łatwo zrozumieć, czemu to przyciąganie jest bardzo słabe. Weźmy kilogram *A* w rękę; ciężar jego, który czujemy, jest przyciąganiem, czynnem pomiędzy kilogramem *A*, a ziemią. Przyciąganie pomiędzy tym kilogramem *A*, a drugim *B*, jest oczywiście tyle razy mniejsze od ciężaru *A*, ile razy masa kilograma *B* jest mniejsza od masy ziemi, a zatem wiele milionów razy słabsze od ciężaru *A*.

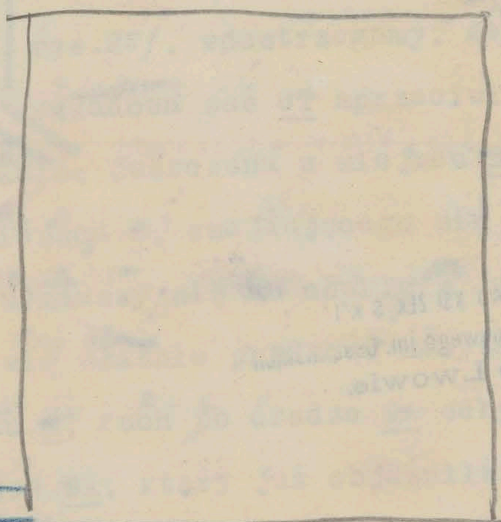
Ciążenie ciał jest zatem *powszechne;* ono rządzi ruchami na niebie i ziemi. Odkrył to uczony, nazwiskiem *Newton* (czyt Niuton), który żył w Anglii lat temu dwieście. Tem odkryciem zasłużył na cześć całej ludzkości.



~~Ciążenie ciał jest zatem powszechne; ono rządzi ruchami na niebie i ziemi. Odkrył to uczony, nazwiskiem Newton /czyt. Nuiton/, który żył w Anglii lat temu dwieście. Tem odkryciem zasłużył na wdzięczność i cześć całej ludzkości.~~

§ 38. Wahadło.

W pionie wiszącym spokojnie /§ 6/ nić wypręża się pionowo pod działaniem siły ciężkości. Spróbujmy odchylić pion od pionowego położenia równowagi OA /rys.27/ naprzykład do OB. Trzymając kulkę pionu w położeniu B, czujemy, że ona okazuje dążność do powrócenia do A; jakoż, puściwszy ją swobodnie, widzimy, że porusza się istotnie ku A.



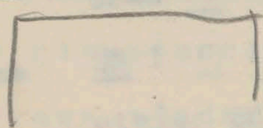
rys. 27

Rozumiemy łatwo, dlaczego tak się dzieje. Niechaj BP wyobraża ciężar kuli wiszącej w położeniu B; siła ta / jak zawsze siła ciężkości/ działa na dół pionowo. Rozłóżmy tę siłę, według zasady równoległoboku /§ 12/, na dwie składowe: BN idącą w przedłużeniu kierunku OB oraz BT prostopadłą do tego kierunku. Wiemy, że siły BN i BT zastępują siłę właściwie działającą, czyli ciężar BP. Owóż z pomiędzy tych sił, pierwsza BN wypręża tylko nić, ale nie wywiera wpływu na ruch kuli, ponieważ ten ruch odbywa się po łuku BA, tak iż składowa BN jest prostopadłą do drogi /por.§ 12/. Druga składowa BT , styczna do drogi, ciągnie kulę od B ku A. - Kula biegnie zatem ku A; ale w miarę zbliżania się ku miejscu A, składowa BT, wywołująca ruch, staje się

coraz mniejsza, w miejscu zaś A niknie zupełnie. W miejscu A działa tylko AP, która wypręża nić, ale nie wywiera wpływu na ruch. Kula przebiega tedy przez A przez prostą bezwładność, z prędkością, której nabyła w drodze BA. Prędkość nabyta przez kulę podczas opadania od B do A, wyczerpuje się teraz podczas podnoszenia się od A do C.

Istotnie, rozłożywszy ciężar CP kulki w miejscu C, w taki sam sposób jak to uczyniliśmy w miejscu B /zob. rys.27/, spostrzegamy, że składowa CN wypręża tylko nić, składowa zaś CT sprzeciwia się ruchowi kuli od A do C. Kula, puszczona w miejscu B zupełnie swobodnie, dobiegnie do miejsca C, znajdującego się na tym samym poziomie jak B. Zatrzymawszy się na chwilę w miejscu C /tam bowiem wyczerpie się właśnie prędkość nabyta po drodze BA/ kula wraca i opada ku A; ruch po drodze CA odbywa się podobnie jak ruch po drodze BA, który już objaśniliśmy. Mocą bezwładności kula przebiega przez A, prędkość nabytą na drodze CA wyczerpuje na podnoszeniu się od A do B itd.- Tym sposobem ruch kuli powtarzałby się bez końca, gdyby nie przeszkadzało mu tarcie w miejscu O oraz opór powietrza.

Przyrząd, który opisaliśmy w artykule niniejszym, nazywa się wahadłem; powiadamy, że kula wahadła odbywa ruch wahadłowy czyli waha się pomiędzy B a C.



Wahadło ma ważne zastosowanie w regulowaniu czyli ujednostajnianiu biegu zegarów. Na rys.28-ym

widzimy najważniejszą część mechanizmu zegarowego. Ciężar C obniża się pod wpływem siły ciężkości, zatem wprowadzałby walec a w obrót niejednostajny, mianowicie w obrót coraz szybszy/§ 30/, gdyby nie przeszkadzało temu wahadło W. Wahadło to, wahając się, wyzwala po kolei zęby koła zębatego Z za pośrednictwem kotwicy czyli wychwytu K. Koło Z jest osadzone na walcu a, więc walec może obrócić się tylko o jeden ząb koła za każdem wahnięciem. Wahnięcia wahadła trwają czas jednakowy, tym więc sposobem ruch walca i połączonych z nim dalszych kół, kółek i wskazówek na tarczy ujednostajnia się. Wahadło W zaś nie może uspakajać się i ustawać w wahaniach, gdyż nacisk koła Z na kotwicę zmusza je nieustannie do ruchu.

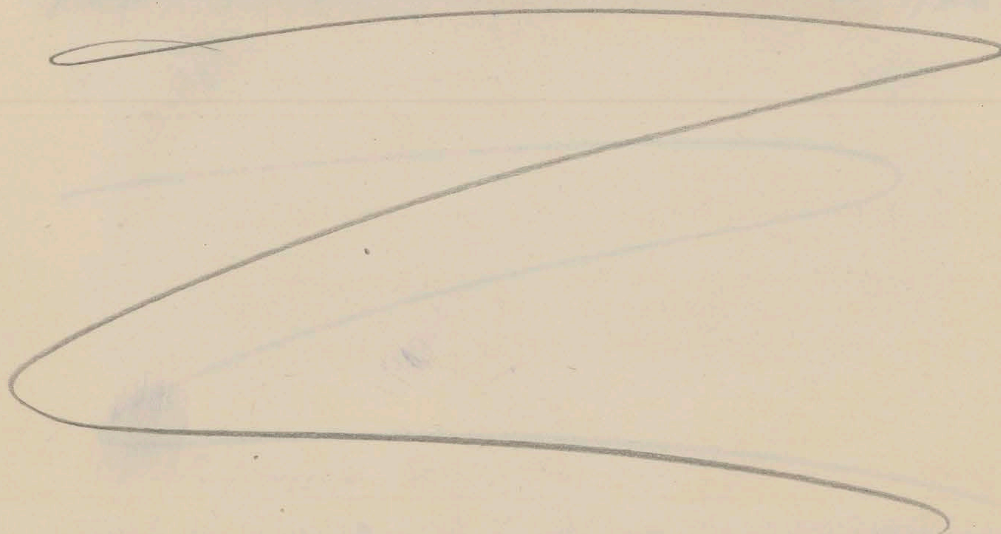
Prawa spadania ciał i ruchu wahadeł odkrył wielki uczony Galileusz, który żył we Włoszech w końcu XVI-go i na początku XVII-go stulecia.

§ 39. Wahanie się /drganie/ sprężyny.

Weźmy krótką sprężynkę, zrobioną przez kręcenie drutu koło rury, umocujemy ją na jednym końcu /rys.29/ a na drugim przytwierdzimy kawałek ppieru A dla uwidocznienia ruchu sprężyny. Jeżeli sprężynę ściśniemy, budzi się w niej pewna siła, zwana siłą sprężystości /por.§ 3/; pod jej działaniem sprężyna usiłuje wrócić do pierwotnej długości. Jeżeli sprężynę ściśniętą wyzwolimy, sprężyna nie pozostanie ściśnięta, lecz zacznie się wydłużać; gdy wróci już do pierwotnej długości, wydłuży się jeszcze nieco przez bezwładność. Znak A będzie się poruszał na lewo i na prawo, będzie się wahał, czyli drgał podobnie jak kula wahadła. Wahanie się znaku A będzie więc wynikiem spółdziałania sprężystości sprężyny oraz bezwładności sprężyny i znaku. Poznaliśmy poprzednio ruch wahadłowy, wynikający ze spółdziałania ciężkości i bezwładności; obecnie poznajemy ruch wahadłowy, który wytwarzają: sprężystość i bezwładność.

Klisza gotowa

rys. 29



§ 40 O pracy.

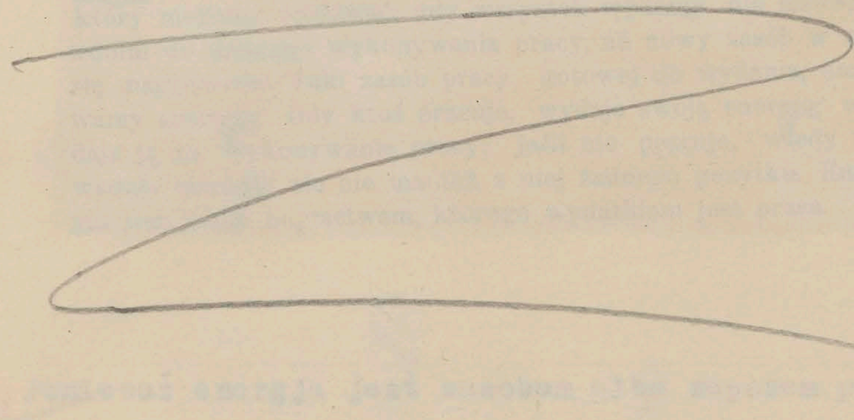
Gdy murarze budują dom, wówczas jedni wnoszą cegły kamienie, wapno i t. d. na wysokość piętra, które jest w robocie; inni za pomocą lin wyciągają na tę wysokość belki. Taka czynność jest przykładem wykonywania *pracy*. Do zbudowania domu potrzeba cegieł, kamieni, wapna, piasku, drzewa i t. d. ale nadto potrzeba też *pracy*, potrzeba znacznej pracy; jeden, człowiek ~~n. p.~~, bez niczyjej pomocy, musiałby pracować wiele lat, zanimby cały dom zbudował. Żeby zbudować dom, potrzeba wykonać pewną pracę; trzeba ~~n. p.~~ wnieść tyle a tyle cegieł na pierwsze piętro, tyle a tyle na drugie i t. d.; w żaden sposób tego dokonać nie można bez pracy. Żeby zbudować dom trzypiętrowy, trzeba znaczniejszej pracy, niż żeby zbudować dwupiętrowy. Widzimy zatem, że *praca* bywa większa i mniejsza, że pracę można *mierzyć*. Wnieść ~~n. p.~~ 20 cegieł na pierwsze piętro wymaga pracy dwa razy takiej, jak wnieść ich 10 na to samo piętro. Wnieść 10 cegieł z dołu na pierwsze piętro, lub wnieść je z pierwszego piętra na drugie, wymaga pracy tej samej, jeżeli piętra są jednkowo wysokie. A zatem wniesienie cegieł z dołu na drugie piętro wymaga wówczas dwa razy takiej pracy, jak wniesienie ich na pierwsze. Powiadamy: *podniesienie ciężaru o pewną wysokość wymaga pracy tem większej, im znaczniejszy jest ciężar i im większa wysokość, o jaką go podnosimy.*

Πc

§ 41 Miara pracy

Przypuśćmy, że dwóch robotników (~~n. p.~~ A i B) wnosi cegły na wysokość piętra; A i B mają każdy ~~n. p.~~ po ~~100~~ cegieł do wniesienia. Mają więc jednakową pracę do wykonania; ale A jest w stanie dźwignąć odrazu ~~20~~ cegieł, gdy B może ~~tylko 10~~ dźwignąć odrazu. Wówczas A, żeby swoją pracę wykonać, wejdzie 5 razy na piętro, gdy tymczasem B, ażeby wykonać swoją, będzie musiał wejść 10 razy. Przypuśćmy że piętro ma 4 metry wysokości: w takim razie A, licząc wprost w górę, odbędzie ogółem drogę 20 metrów, B zaś — drogę

H 80
Π 16 ważących np. 16 kg.
F tylko 8 cegieł, ważących 8 kg.
Ido Γy



40 metrów. A więc podniesienie 16 kg o 20 m do góry wymaga tej samej pracy, jak podniesie 8 kg o 40 m.

Zupełnie podobnie, podniesienie 32 kg o 10 m, albo 64 kg o 5 m, albo 4 kg o 80 m, albo 2 kg o 160 m wymaga pracy tej samej. Widzimy zatem, że: miarą pracy, wykonywanej przy podnoszeniu ciężarów jest iloczyn ciężaru przez wysokość przebytą pionowo do góry.

Za jednostkę siły wybraliśmy w § 8-ym ciężar 1 kilograma; za jednostkę wysokości /czyli długości/ wybraliśmy w § 3-im metr. Jednostką pracy jest zatem praca, którą trzeba wykonać, ażeby podnieść 1 kilogram pionowo o 1 metr do góry; tę jednostkę nazywamy kilogramometrem /kgm/. Każdą inną pracę mierzymy przez porównanie z kilogramometrem; czyli innemi słowy: wyrażamy ją w kilogramometrach. Widzimy naprzykład w przytoczonym przed chwilą przypadku robotników A i B, że każdy z nich miał do wykonania 320 kgm; że każda z prac tam podanych wynosi 320 kgm.

§ 42 O energji.

Robotnik, który bierze ~~na siebie~~ 10 cegieł za każdym razem, gdy wchodzi na piętro, mógłby zapewne udźwignąć 12, gdyby się nieco wysilił, a nawet może 15 i więcej. ~~Ale, podczas gdy mógł~~, biorąc po 10 cegieł, pójść z niemi do góry, n. p. trzydzieści razy z rzędu, teraz, obarczony 15 cegłami od razu, zmęczy się wcześniej. A zatem człowiek może wywrzeć chwilowo siłę większą lub mniejszą, ale pracę może wykonać tylko ograniczoną. W każdym z nas jest jakby pewien zasób pracy, z którego możemy czerpać, jakby pewien *zapas pracy*, który możemy wydawać; gdy wszystek wydamy, nie jesteśmy zdolni do dalszego wykonywania pracy, aż nowy zasób w nas się nagromadzi. Taki zasób pracy, gotowej do wydania, nazywamy *energją*. Gdy ktoś pracuje, wydaje swoją energję, wydaje ją na wykonywanie pracy; jeśli nie pracuje, wtedy nie wydaje energji, ale nie ma też z niej żadnego pożytku. Energja jest jakby bogactwem, którego wydatkiem jest praca.

Fmięt

Ponieważ energja jest zasobem albo zapasem pracy, więc mierzy się tą samą jednostkę jak praca t.j. kilogramometrem.

§ 43. Inne przykłady pracy.

Pracę wykonywamy nietylko wówczas, gdy podnosimy ciężary przeciwko ciągnącej je na dół sile ciężkości. Żeby wyciągnąć taśmę kauczukową /umocowaną na drugim końcu/ lub skręcić stalową sprężynę /która usiłuje się rozkręcić/, musimy wydać energję, musimy wykonać pracę. Im większy jest opór sprężysty taśmy lub sprężyny, tem większą siłą mięśnie nasze muszą pracować i tem większą pracę mają wówczas do wykonania. Im większe wydłużenie taśmy lub im większe skręcenie sprężyny tem praca również jest większa.

Kiedy podnosimy ciężary lub skręcamy /albo wyciągamy albo zginamy/ ciała sprężyste, pracę wykonywa siła naszych mięśni. Ale ~~xxx~~ każda inna siła może wykonywać pracę. Siła ciężkości, naprzykład, może pracować. Przypuśćmy, że ciężar większy B /rys.30/, opadając, podnosi do góry ciężar mniejszy A; wówczas siła ciężkości, działając na B, wykonywa pracę konieczną do podniesienia ciała A. Podobnie siła sprężystoci może wykonywać pracę. Gdy np. zgięte drzewko się wyprostowywa lub skręcona sprężyna się rozkręca, może podnieść jakiś ciężar do góry.

Klisza jest

rys. 30

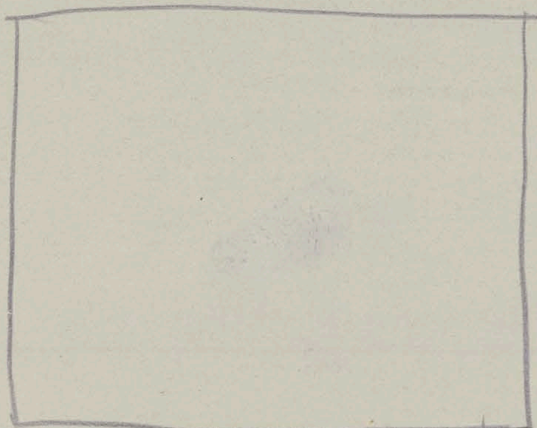
§ 44. Energja sprężyny skręconej, kamienia podniesionego.

Sprężyna skręcona jest każdej chwili gotowa do wykonania pracy; lecz, żeby ją wykonać, musi się rozkręcać. Gdy całkowicie się rozkręci, nie może już dalej dostarczać pracy. ~~N. p.~~ Zegarek nakręcony idzie przez pewien przeciąg czasu, później zatrzymuje się: sprężyna, która go poruszała, jest rozkręcona. A zatem skręcona sprężyna posiada jak gdyby pewien *zasób* pracy, gotowej do wydania; gdy go wyda, przestaje być zdolna do wykonania pracy. Ten zasób pracy nazywamy *energią* skręconej sprężyny, podobnie jak energią człowieka nazywaliśmy zasób pracy, do której człowiek jest zdolny. Powiadamy, że skręcona sprężyna *ma pewną energię*; gdy pracuje, wydatkuje z tej energii; gdy ją wyda całą, jest wyczerpana, dalszej pracy dać nie może.

Podobnie kamień lub inny jakikolwiek ciężar jest gotów do wykonania pracy, jeżeli może zejść niżej, niż się w danej chwili znajduje; albowiem, żeby wykonywać pracę, kamień musi się obniżać. ~~N. p.~~ jeśli ciężar ~~d~~ B (rys. ~~23~~ 30) obniży się aż do podłogi, nie będzie mógł dalej dostarczać pracy na ~~pokonywanie tarcia~~ podniesienie ciała A. Kamień *podniesiony* posiada więc pewien zasób pracy, gotowej do wydania, który też nazywamy *energią* kamienia. Kamień, który już nie może zejść niżej, wydał energię, którą posiadał, podobnie jak wydała ją sprężyna rozkręcona.

§ 45. Praca, wykonywana na równi pochyłej.

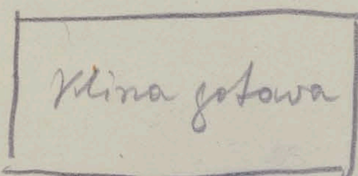
Równia pochyła jest nam znana z § 12-go. Wyobraźmy sobie, że ciągniemy ciało K po równi pochyłej /rys.31/. Z § 12-go wiemy, że mozemy to uskutecznić siłą mniejszą niż ciężar K.



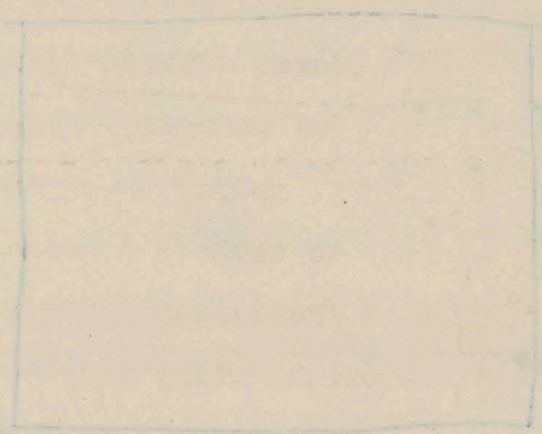
rys. 31

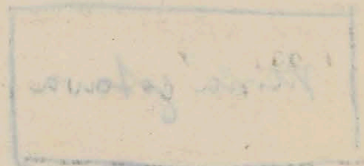
Im bardziej równia AB pochyla się ku poziomemu położeniu, tem mniejszego wysiłku wymaga ciągnienie. Lecz im AB pochyla się bardziej ku poziomemu położeniu, tem dłuższa jest droga, którą odbyć po niej musi ciało K, ażeby podnieść się o daną wysokość, np. o 1 metr do góry. Ponieważ praca zależy zarazem i od siły pracującej i od długości drogi, na której ta siła pracuje, więc łatwo zrozumieć, że praca potrzebna do podniesienia ciała K wzdłuż równi AB nie zależy wcale od nachylenia równi.

Ażeby to jeszcze lepiej zrozumieć, przypuśćmy, że AO na rys.32-im wyobraża poziom podłogi w pokoju, BCDZ zaś poziom sufitu. Im znaczniejsze jest pochylenie drogi ku poziomowi /porówn.np. AB, AC, AD/, tem mniejsza jest siła potrzebna do wciągania, ale tem dłuższa jest droga, którą ciało przebyć musi, żeby z podłogi podnieść się do sufitu. Ale we wszystkich drogach pionowe /ostateczne/ podniesienie się jest to samo, mianowicie OZ /rys.32/. Owóż praca potrzebna do podniesienia ciała zależy tylko /§ 41/ od tego ostatecznego, pionowego podniesienia; zatem jest jednakowa na wszystkich tych drogach AB, AC, AD. Praca wykonywana na równi pochyłej nie zależy więc od nachylenia tej równi.



rys. 32





Zadania.

1° Trzymamy w ręku ciało nieruchomo; czy wykonywamy wówczas pracę ?

2° Człowiek jest zdolny do wywarcia siły, równej ciężarowi 20 kg, na drodze 100 metrów; ile pracy może wówczas wykonać

3° Siła równa ciężarowi 20 gramów działał w kierunku drogi, której długość jest 15 cm. Ile pracy wykonała ?

4° Na równi pochyłej, pochylonej do poziomu pod kątem 30 stopni, znajduje się ciało ważące 30 kg. Jeżeli posunęliśmy to ciało o 5 metrów wzdłuż równi, ile wykonaliśmy pracy ? /Por.zadanie 3 w § 12-ym/.

5° Człowiek, który waży 60 kg wszedł na schody; żeby tego dokonać, mięśnie jego wykonały pracę 600 kgm. Ile metrów wynosi wysokość, o którą się podniósł ?

§ 46. Nie można stworzyć pracy z niczego.

Widzieliśmy w § 12-ym oraz w § 45-ym, że przy pomocy równi pochyłej możemy podnosić ciało siłą mniejszą /nawet znacznie mniejszą/ niż ciężar tego ciała. Równia pochyła pozwala nam zatem wyzyskać siłę stosunkowo małą, z której nie mielibyśmy, bez tego przyrządu, żadnego pożytku. Stosunkowo małą siłą możemy wykonać na równi pochyłej pracę, do które, bezpośrednio podnosząc, musielibyśmy użyć siły większej. Ale równia poc hyła nie daje nam żadnej oszczędności w pracy, którą musimy wykonać, jeżeli chcemy podnieść dane ciało o daną wysokość; przekonaliśmy się o tem w artykule poprzedzającym.

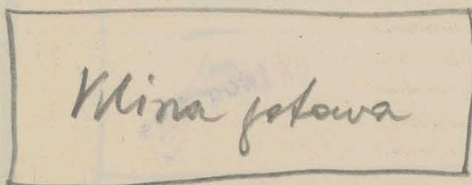
Możemy podnosić ciała do góry rozmaitemi sposobami. Możemy podnosić je bezpośrednio w ręku, albo ciągnąć za pomocą sznurka i bloczka /§ 43/; możemy podnieść ciało za pośrednictwem wyciągniętej mocnej sprężyny albo prowadzić je do góry po równi pochyłej; możemy posłużyć się różnemi innemi przy-

rządami, o których będziemy jeszcze później mówili. Jednakże, jakimkolwiek sposobem będziemy podnosili, samo podniesienie pewnego ciała o pewną wysokość będzie wymagało zawsze tej samej pracy.

Sam przez się żaden przyrząd nie wykonywa pracy; musimy mu dostarczyć pracy, która ma być wykonana. Naprzykład, na równi pochyłej, ręka ludzka albo wyciągnięta sprężyna albo mały ciężar, opuszczając się, dostarcza pracy, potrzebnej do podniesienia dużego ciężaru.- Widzieliśmy, że równia pochyła nie da nam, w żadnym razie, więcej pracy aniżeli jej dostarczamy. To samo można powiedzieć o każdym przyrządzie, o każdem mechanicznem urządzeniu. Żaden przyrząd nie da więcej pracy, aniżeli mu jej dostarczamy. Żaden przyrząd nie stworzy nawet najmniejszej ilości pracy z niczego. Widzieliśmy to przed chwilą na przykładzie równi pochyłej; zrozumiemy jeszcze lepiej tę prawdę na innych przykładach.

§ 47. Dźwignia.

Weźmy drążek drewniany lub metalowy AB; na końcach zawieśmy dwa jednakowe ciężarki a, b; w środku drążka O umieśćmy oś i tą osią połóżmy go na podstawie /rys.33/. Drążek jest w równowadze, nie przechyla się ani w jedną ani w drugą stronę.- Nazywamy taki przyrząd dźwignią; części jego od osi O do miejsca A lub B zawieszenia ciężaru nazywamy ramionami. Dźwignia przedstawiona na rys.33-im jest zatem równoramienna. Powiadamy:

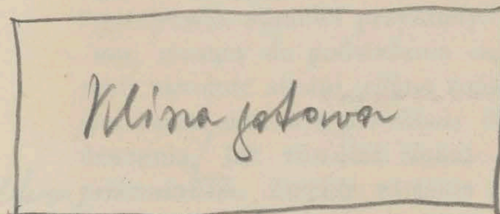


rys 33

Dźwignia równoramienna jest w równowadze, jeżeli ciężary jednakowe działają na ramiona jednakowe czyli równe.

Zawieśmy teraz na dźwigni, wyobrażonej na rys.33-im, ciężary niejednakowe; w miejscu A zawieśmy np. 3 kilogramy, w miejscu B 1 kilogram. Równowagi nie będzie, drążek przechyli się

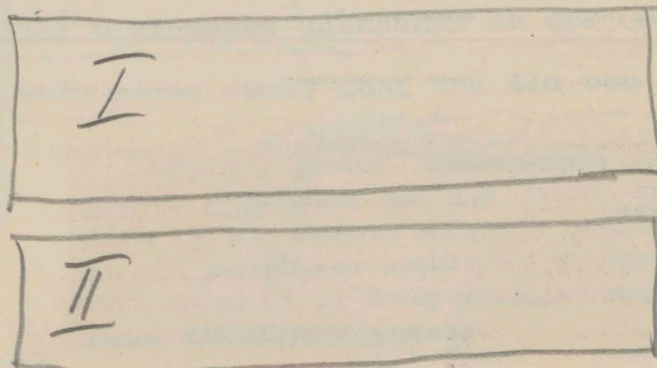
natychmiast w stronę większego ciężaru. Spróbujmy zmienić długość ramion, t.j. umieścić oś O inaczej niż przódy. Wiemy z codziennego doświadczenia, że trzeba umieścić



rys. 34.

oś O bliżej większego ciężaru, ażeby osiągnąć równowagę /rys. 34/. Przekonywamy się łatwo /przy pomocy podziałki, umieszczonej na dźwigni/, że, w razie równowagi, ramię OA musi być 3 razy krótsze niż OB, jeżeli na A działa ciężar 3 razy większy niż na B. Warunek równowagi dźwigni nierównoramiennej możemy więc wypowiedzieć w sposób następujący: dla równowagi potrzeba, ażeby ramiona były w stosunku odwrotnym do sił, na nie działających; ile razy siła jest większa, tyle razy ramię musi być krótsze. Albo jeszcze inaczej: iloczyn siły przez ramię musi być jednakowy z obu stron osi.

Nietrudno zrozumieć, dlaczego warunek równowagi dźwigni musi być taki, jak przed chwilą powiedzieliśmy. Przypuśćmy, że na punkt A dźwigni AB działa siła 2 kg, na B siła 1 kg; OA ma być przeto równe połowie OB /rys.35,I/. Wyobraźmy sobie na chwilę, że dźwignia jest dłuższa, że sięga do C /rys.35,II/ i że AC = OA. Zamiast siły 2 kg, działającej na A, możemy wyobrazić sobie dwie siły po 1 kg każda, przyłożone do O i do C /§ 9/; te dwie siły są równo-



rys. 35.

ważne poprzedniej sile 2 kg, przyłożonej do A. Ponieważ siła, przyłożona do O, działa na podstawkę i równoważy się z jej oporem, więc pozostają tylko dwie siły równe, po 1 kg każda, przyłożone w C i w B, zatem działające na ramiona równe: OC = OB. Dźwignia II będzie w równowadze;

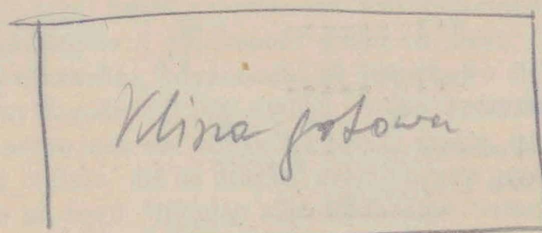
zatem także i dźwignia I.

Mnóstwo przedmiotów codziennego użytku, mnóstwo narzędzi i przyrządów, używanych w rękodziełach, przemyśle i rolnictwie, stanowi przykłady lub zastosowania dźwigni. Drąg ~~n. p.~~, służący do podważania ciężarów, jest dźwignią; ramię czyli rękojeść studni, różne rodzaje nożyc, obcęgi, zwykła nawet łopata stanowią przykłady dźwigni. Belka każdej wagi jest dźwignią, jak również znany powszechnie przyrząd, zwany przezmianem. Zwykłe wiejskie studnie (t. zw. żórawie) są zastosowaniem dźwigni; zastawy czyli bar(j)ery rogatek bywają często dźwigniami.

(zob. § 49)

§ 48. Inny rodzaj dźwigni.

Rysunek 36 wyobraża dźwignię innego rodzaju; oś jej O znajduje się nie w pośrodku, lecz z jednej strony /np. z lewej strony/ punktów A, B przyłożenia ciężarów. Ale i w tej dźwigni mamy dwa ramiona OA, OB. Jeżeli ramię OA /jak na rysunku/ jest połową ramiona OB, potrzeba wówczas do równowagi, ażeby ciężar a był 2 razy większy niż ciężar b. Przekonywamy się o tem w sposób, widoczny z rysunku. A zatem i w tym razie, podobnie jak w poprzednim: ile razy większa jest siła, tyle razy krótsze musi być ramię, na które siła działa. Innemi słowy, tutaj znowu: dla równowagi ramiona muszą być w stosunku odwrotnym do sił; albo jeszcze: iloczyn siły przez ramię musi być dla obu ramion jednakowy.



rys. 36

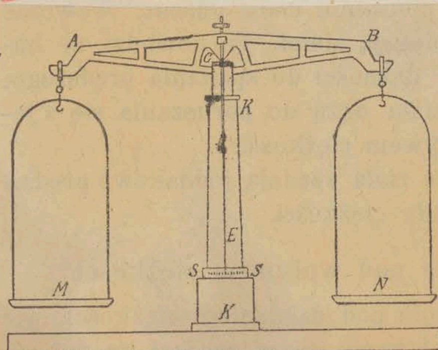
Przykłady dźwigni ~~jednoramiennej~~ jednostronnej znajdujemy w wielu znanych przyrządach, ~~jak~~ n. p.: taczki, krajalnice (papieru, chleba i t. p), maszyny służące do wycinania lub wybijania otworów, narzędzia do ugniatania i wyciskania (korków, orzechów, cytryn i t. p.). ~~Każdy miech jest również zastosowaniem zasady dźwigni jednoramiennej.~~

§ 49. Waga.

Do najważniejszych zastosowań dźwigni należy waga. Jest to przyrząd, który służy do porównywania ciężaru różnych ciał czyli, jak zwykle mówimy, do ważenia ciał. Wiemy

z § 7-go, że można ważyć ciała na sprężynie lub ważce sprężynowej. Ale ważenie na wadze jest bezporównania dokładniejsze.

Waga składa się z belki czyli dźwigni AB /rys.37/, w której pośrodku mieści się na dół zwrócony trójkątny słupek czyli pryzmat *C*; tym pryzmatem belka spoczywa na podstawce *K* tak, iż ostrze pryzmatu stanowi oś, około której belka się waha. Belka dźwiga z dwóch stron szalki *M*, *N*; w pośrodku opatrzona jest we wskazówkę *E*; kołysanie się belki poznajemy po ruchu tej wskazówki przed podziałką *SS*.



Rys. 37

Waga taka działa zupełnie jak dźwignia równoramienna, którą poznaliśmy w § 17. Dopóki szalki są puste, belka znajduje się w równowadze, gdyż szalki są jednakowo ciężkie. Skoro poruszymy łagodnie jedną szalkę, belka zaczyna się kołysać, ale nie przewraca się. Kiedy na jednej szalce, n. p. na prawej, leży ciało cięższe, niż na drugiej, szalka prawa przeważa, wskazówka idzie na lewo. Ujmując albo dokładając ciężaru, doprowadzamy do tego, że wskazówka stoi nieruchomo w pośrodku skali lub też wychyla się w obie strony jednakowo daleko. Na szalkach leżą wówczas ciała, których ciężary są *równe*. Chcąc zatem zważyć jakieś ciało, kładziemy je na jednej szalce wagi, na drugą zaś szalkę kładziemy gramy, czy dekagramy, czy kilogramy, dopóty, aż wskazówka wskaże, że nastąpiła równowaga.

П 47 wagi

§ 50. Ciężar właściwy. Gęstość.

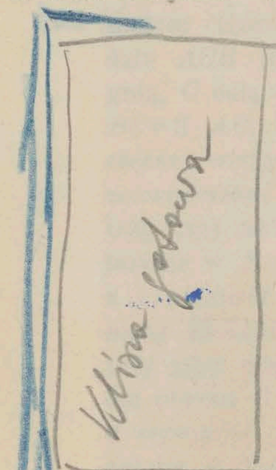
Zróbmy sześciany, mające każdy po centymetrze sześciennym objętości. Zróbmy jeden sześcian z ołowiu, drugi z żelaza, trzeci ze szkła, czwarty z lodu, piąty z drzewa (n. p. jodłowego), szósty z korka. Czujemy w ręku, że sześcian ołowiany jest najcięższy, a korkowy najlżejszy. Ale zapomocą wagi możemy poznać dokładniej, że:

sześcian	waży około			sześcian	waży około	
ołowiany	11	gramów	—	z lodu	$\frac{9}{10}$	grama
żelazny	$7\frac{1}{2}$	„	—	z drzewa	$\frac{1}{2}$	„
szklany	$2\frac{1}{2}$	„	—	z korka	$\frac{1}{4}$	„

Gdyby można było zrobić z wody taką samą bryłkę, równą centymetrowi sześciennemu, ważyłaby ona jeden gram. Widzimy więc, że pewna objętość ołowiu lub żelaza waży więcej niż ta sama objętość wody; że pewna objętość drzewa lub korka waży mniej niż ta sama objętość wody. Mówi się z tego względu,

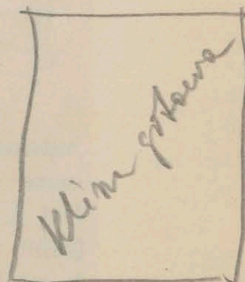
że ciężar właściwy ołowiu lub żelaza jest większy, a drzewa lub korka mniejszy niż ciężar właściwy wody. Za miarę ciężaru właściwego danego ciała przyjmujemy ciężar jednego centymetra sześciennego tego ciała. Zatem woda ma ciężar właściwy 1, ołów ma c.wł. 11, żelazo 7 1/2, szkło 2 1/2, lód 9/10, drzewo 1/2, korek 1/4.

Rtęć jest cieczą, podobnie jak woda, ale jej ciężar właściwy jest bardzo znaczny. Zrównoważmy na szalkach wagi dwa szklane kubki t.zw. dzielone, na których nacięra skala oznacza zawarte do pewnej kreski objętości /rys.38/. Jeżeli do jednego kubka wlejemy np. 10 cm^3 rtęci, trzeba będzie wlać do drugiego 135 cm^3 wody, żeby przywrócić równowagę. Zatem ciężar właściwy rtęci wynosi około 13.5 .



rys. 38

Ciężar właściwy alkoholu /wyskoku/ wynosi 0.8; ciężar właściwy oliwy wynosi 0.9 . Ciężar właściwy cieczy mierzymy najlepiej za pomocą bańki szklanej, którą ważymy najprzód pustą /rys.39/, później pełną wody /aż do kreski w wydrążonym koreczku/, wreszcie pełną alkoholu albo oliwy. Odejmując za każdym razem ciężar bańki pustej, znajdujemy ciężary wody, alkoholu, oliwy, które wypełniały tę samą objętość; stąd obliczamy odrazu ciężar właściwy alkoholu lub oliwy.



rys. 39

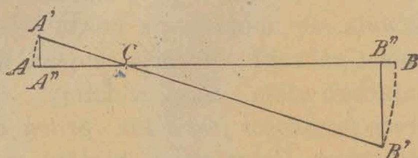
Wiemy z § 33, że liczby wyrażające ciężary ciał, wyrażają również ich masy. Jeżeli zatem centymetr sześcienny ołowiu, żelaza, szkła ma ciężar 11, 7 1/2, 2 1/2 grama, to także

masa jednego centymetra ołowiu, żelaza, szkła wynosi 11, 7 1/2, 2 1/2 grama - Masę jednego centymetra sześciennego ciała nazywamy jego gęstością.

Znając gęstość jakiegoś ciała, możemy znleźć jego całkowitą masę, mnożąc gęstość przez objętość ciała. Znajdujemy również ciężar tego ciała, mnożąc jego ciężar właściwy przez objętość.

§ 51.Dźwignia nie daje oszczędności w pracy.

Widzieliśmy w § 46-ym, że równiez pochyła nie daje oszczędności w pracy, którą musimy wykonać, gdy chcemy podnieść pewne ciało o pewną wysokość. To samo stosuje się do dźwigni. Na dźwigni, jak wiemy, można zrównoważyć duży ciężar małym ciężarem. Niechaj będzie *ACB* (rys. ~~25~~ 40) dźwignią, *C* osią obrotu i niechaj *BC*=3 *AC*. W takim razie ciężar, wiszący w *A*, można zrównoważyć w *B* ciężarem trzy razy mniejszym; dodając



Rys. ~~25~~ 40

jeszcze w *B* choćby najmniejszy ciężarek, można *A przeważyć*, t. j. podnieść ciężar *A* do góry. *Małą więc siłą można zapomocą dźwigni pokonać znaczną siłę.* Ale, jeśli ciężar *A* jest trzy razy większy od *B*, musimy go zawiesić trzy razy bliżej osi obrotu *C*. Zatem poruszenie się dźwigni podniosłoby *A* o wysokość trzy razy mniejszą, niż wysokość, o którą obniżyłoby *B*. Tak n. p. podniesienie się *A' A"* jest trzecią częścią obniżenia się *B" B'*. ~~Otóż~~ praca, zużywana w podnoszeniu (lub dostarczana nam w obniżaniu się ciężaru) zależy nie tylko od ~~wielkości~~ ciężaru, ale i od wysokości przebytej; widzimy więc, że dźwignia na podnoszenie *A* wydaje tyle pracy, ile jej dostarcza obniżanie się *B*. *Dźwignia nie daje ~~więc~~ żadnej oszczędności w pracy*,

~~oszczędności w pracy.~~

Lecz, w takim razie, w jakim celu posługujemy się dźwignią ? jki pożytek osiągamy przez nią ? Żeby na to odpowiedzieć, przypomnijmy sobie / § 41/, że praca zależy zarazem i od siły pracującej i od długości drogi, na której ta siła pracuje. Ta sama praca może więc być wykonana raz przez małą, drugi raz przez dużą siłę. Robotnik uniesie

bez trudności 10 kg na wysokość 12 metrów; ale nie zdoła podnieść odrazu 120 kg o wysokość jednego metra. Otóż przypuśćmy, że mamy unieść 120 kg odrazu o wysokość 1 m; mamy np. poruszyć w ten sposób ciężką skrzynię i przenieść ją w inne miejsce. Czy podnosimy 10 kg o wysokość 12 m, czy 120 kg o wysokość 1 m, ilość pracy potrzebnej jest w obu razach tasama, ale rodzaj pracy jest odmienny. Robotnik ma w pogotowiu pracę takiego rodzaju:

mała siła, długa droga ..../1/

a tymczasem nam potrzebna jest praca innego rodzaju:

duża siła, krótka droga ..../2/

Otoż dźwignia może zamienić nieprzydatną postać /1/ pracy, którą rozporządzamy, na przydatną posta/ć /2/, której potrzebujemy.

Taki jest użytek dźwigni; taki jest użytek wszelkich przyrządów albo urządzeń mechanicznych czyli maszyn. Maszyny nie wytwarzają ~~xxxxx~~ bynajmniej pracy, której dostarczają; nie powiększają one wcale ilości pracy, jaką rozporządzamy; posługując się maszyną, nie możemy nic zyskać na pracy. Maszyny zamieniają niedogodne, niepożądane rodzaje pracy na bardziej dogodne i pożyteczne.

Zadanie.

1. Robotnik podważa ciężar 50 kilogramów drągiem metrowym, opierając go w odległości 20 cm od ciężaru. Jaką siłę musi wywrzeć.
2. Na taczkach leży ciężar 100 kg, którego środek ciężkości znajduje się w odległości 40 cm od osi obrotu kółka taczek. Ich długość całkowita wynosi półtora metra. Jaką siłę należy wywrzeć, by utrzymać taczki ?
3. Jakiego rodzaju dźwignia jest dziadek do orzechów ?

4 Litr nafty waży 760 gramów. Ile wynosi ciężar właściwy nafty ?

5 Jaką objętość zajmuje 100 gramów terpentyny, której gęstość wynosi 0.9 ?

§ 52. Praca nie ginie.

Żeby skręcić sprężynę, trzeba wykonać pracę; zato sprężyna, skoro jest skręcona, ma energję czyli sama może wykonać pracę. Zatem praca, którą wydaliśmy na skręcenie, nie zginęła, nie jest stracona; sprężyna skręcona może każdej chwili ją zwrócić. Podobnie, żeby podnieść kamień, trzeba wykonać pracę; ale praca ta nie zginęła, gdyż kamień podniesiony ma energję, więc może zwrócić pracę, którą wydaliśmy na podniesienie.

Przypuśćmy, że podnieśliśmy kamień o pewną wysokość i że następnie puściliśmy go swobodnie; kamień spada na dół ku ziemi. Na co została tu zużyta praca, którą wydaliśmy dla podniesienia kamienia? Została ona zużyta na przyśpieszenie ruchu ku ziemi. Zdjąwszy n. p. *nieco* ciężarków z szalki *B* na bloku (rys. 30), sprawimy, że ciężar *A* pocznie opadać powoli; jeśli wszystko nagle zdejmiemy z *B*, *A* odrazu poleci na dół. Tu zatem praca, której dostarcza opuszczanie się ciała *A*, zużywała się naprzód na pokonywanie ciężkości *B*; kiedy tego oporu zabrakło, obróciła się na wzmożenie ruchu samego spadającego ciała. Stąd widzimy, że *nadanie jakiemuś ciału pewnej prędkości jest także pracą* czyli wymaga także wykonania pracy. Żeby *rzucić* kamień w górę, trzeba wykonać pracę tak samo, jak żeby go w górę *wciągnąć* lub podnieść; tylko, gdy się go rzuca, wykonywa się pracę odrazu, gdy się go wciąga lub podnosi, wykonywa się ją powoli, stopniowo.

Widzimy dalej, że kamień, gdy został rzucony, nabył przez to pewnej *energji*. Kamień rzucony może naprzykład coś przewrócić, złamać lub potłuc; kula wystrzelona może wybić szybę, przebić ścianę; tymczasem kamień lub kula, które leżą na ziemi, nie mogą uczynić nic podobnego. Woda pędząca wartkim strumieniem, ma energję, której nie ma woda w sadzawce. Powietrze spokojne nie ma energii, którą ma wicher lub wiatr. Młotek nie wciśnie gwoździa do deski samym swoim ciężarem; trzeba *uderzyć* młotkiem, żeby pokonać opór. Mówimy nieraz o *rozmachu* ciała, które się porusza, n. p. o rozmachu topora lub siekiery; chcemy przez to powiedzieć, że ciało ma wówczas energję ruchu. *Ciało, które się porusza, posiada pewną energję dzięki temu ruchowi.* A zatem też *praca*, jaką musimy wykonać, ażeby ten ruch ciału nadać, nie ginie, nie jest stracona; ciało poruszające się może ją zwrócić, bo posiada energję ruchu.

§ 53. Tarcie pochłania pracę.

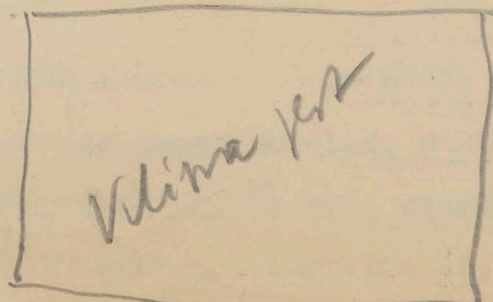
Kto spróbuje rzeczywiście wykonać doświadczenia, które opisaliśmy w rozdziale niniejszym, zauważy natychmiast, że one udają się "mniejwięcej"; że nie wypadają dokładnie w ten sposób, jak tu przedstawione zostały. Wózki na stole, wagony na szynach, równie pochyłe, bloki, dźwignie, wagi, wahadła działają niemal dokładnie, lecz jednak nie całkiem dokładnie w taki sposób, jak to przypuszczaliśmy w rozumowaniach powyższych. Czy zatem prawa Dynamiki nie są zupełnie ścisłe ? czy są tylko przybliżenie prawdziwe ?

Bynajmniej tak nie jest. Pamiętajmy o tem, że w każdym przyrządzie i w każdej maszynie działa jakieś tarcie /§ 20/. Tarcie w maszynie możemy zmniejszyć, ale nie możemy go całkowicie uniknąć.

Otóż, im mniejsze są powierzchnie zetknięcia ciał ze sobą, im te powierzchnie są gładsze lub lepiej wysmarowane, tem dokładniej sprawdzają się nasze opisy i nasze twierdzenia. Uczyliśmy się tutaj takich praw ruchu, które obowiązywałyby ściśle, gdyby nie było tarcia.

Tarcie sprawia najczęściej, że ruch ciał na ziemi jest bardzo zawiły. Na niebie niema tarcia; słońce, ziemia, księżyce, planety krążą w niemal pustem przestworzu. Dlatego ciała niebieskie poruszają się ściśle według zasad i praw prostej Dynamiki.

Dlaczego tarcie przeszkadza każdemu ruchowi przeciwstawia mu opór, niekiedy znaczny ? Ponieważ pochłania pracę. Na rys. 41-ym widzimy, jak ciężar d, opadając, ciągnie skrzynkę b po stole aa; tutaj siła ciężkości wykonywa pracę, którą pochłania tarcie. Podobnie dzieje się w /ściennym zegarze; gdy w kieszonkowym zegarku sprężystość skręconej przez nas sprężyny dostarcza pracy potrzebnej do pokonania tarcia/ drobnych kółek i osi zegarka.



rys. 41

Tarcie pochłania pracę; dlatego równia pochyła, dźwignia, blok i inne przyrządy oddają nam trochę mniej pracy, niż jej dostarczamy. Pewna strata pracy /zazwyczaj jednak niewielka/ jest nieuchronna, ponieważ niema maszyny bez tarcia.

§ 54. Praca nie ginie, ale może się przeobrażać.

Przekonaliśmy się w artykułach poprzednich, że praca nie ginie. Praca wydana na skręcenie sprężyny, na podniesienie kamienia, na rzucenie kuli, nie ginie, nie jest stracona, albowiem sprężyna skręcona ma energję, kamień podniesiony ma energję, kula biegnąca ma energję t.j. może zwrócić nam pracę wydaną.

Gdy przesuwamy skrzynię po stole czy po podłodze, wówczas na przezwyciężenie tarcia musimy wydać pewną ilość pracy; czyż skrzynia przesunięta ma energję? czy może nam zwrócić pracę wydaną? Co wogóle dzieje się z pracą, którą pochłania jakiekolwiekbądź tarcie? Czy podobna przypuścić, ażeby ta praca obracała się w niwecz i bezpowrotnie ginęła? Praca nie ginie; więc praca, którą wydajemy na przezwyciężenie jakiegobądź tarcia, musi się w coś przeobrażać, czyli na coś zamieniać. Istotnie zamienia się ona na ciepło. Przypomnijmy sobie, że każda oś w powozie, wagonie kolejowym czy jakiejkolwiek maszynie grzeje się przez tarcie o panewkę; ażeby tego uniknąć, staramy się o zmniejszenie tarcia, smarując trące się powierzchnie. Przyciskamy kawałek żelaza do obwodu koła, które obraca się prędko, a rozgrzejemy żelazo tak znacznie, że niepodobna będzie utrzymać go w dłoni. Dzicy nie innym sposobem, jak tarciem rozniecają ogień, a i my posługujemy się tym sposobem, ażeby zapalić zapałkę. ~~Gdy przesuwamy więc skrzynię po stole lub po podłodze, trochę ciepła niewątpliwie musi powstawać.~~

Widzimy zatem, że przez tarcie praca zamienia się na ciepło. Gdy kowal uderza ciężkim młotem sztabę żelazną, praca jego mięśni zamienia się z początku na energję ruchu, następnie ta energja podczas uderzenia zamienia się na ciepło. Widzimy w nocy, że iskry wyskakują na bruku koniom zpod podków; to dowodzi, że uderzenie żelaza o kamień jest zdolne nietylko odłupać drobny odłamek kamienia, lecz nadto rozgrzać go do białości. Potrząsając mocno butelką, w której znajduje się chłodna woda, możemy sprawić, że woda stanie się cieplejszą. Wszelka praca, wszelka energja, zamienia się bardzo łatwo na ciepło.

ZARZĄD
[redacted] WYDAWNICTWA KSIĄŻEK SZKOLNYCH
W ZAKŁADZIE NAROD. IM. OSSOLIŃSKICH
WE LWOWIE

60

Lwów, ... 191...

Rozdział II

68
61

R O Z D Z I A Ł   D R U G I

O CIAŁACH STAŁYCH, CIEKŁYCH I GAZOWYCH .

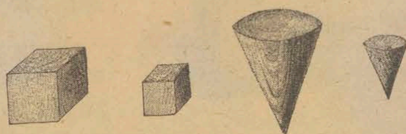
69
62

ROZDZIAŁ DRUGI.

O ciałach stałych, ciekłych i gazowych.

§ ~~36.~~ 55. Objętość a postać.

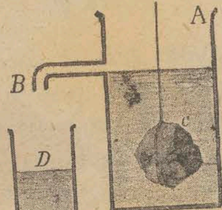
Każde ciało ma pewną *postać*. Cegła n. p. ma postać prostopadłościanu, świeca i ołówek — postać walca, lejek ma postać stożka. *Postać* jest to własność zupełnie inna, niż *objętość* (§ 1.). Dwa sześciany ~~[illegible]~~ lub dwa stożki na rys. 42. są ciałami jednakowej postaci, lecz niejednakowej objętości. Przeciwnie, dwa walce na rys. ~~34.~~ 43. mają jednakową objętość, postać zaś niejednakową. ~~Wogóle~~ dwa ciała *różnej* i niepodobnej postaci mogą mieć objętość *jednakową*. Weźmy naczynie *A*, opatrzone w wypływ boczny *B*, rys. ~~35.~~ 44; napełnijmy je wodą, a kiedy wypływ przez *B* ustanie, wprowadźmy łagodnie do wody ciało *C* i zbierzmy w *D* wodę, którą *C* wyparło. Ciało *C* ma tyle centymetrów sześciennych objętości, ile gramów waży woda zebrana (§ 50). Jakakolwiek jest postać ciała *C*, objętość jego będzie taka sama, jak objętość wody w *D*. Jeśli kamień, ręka, roślina wypierają jednakową ilość wody, mają objętość jednakową, równą objętości wody wypartej.



Rys. ~~33.~~ 42.



Rys. ~~34.~~ 43.



Rys. ~~35.~~ 44.

1743 — ciu

§ ~~44.~~ 56. Ciała stałe i ciekłe.

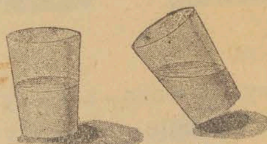
Kawałek drzewa leży na stole; ma on pewną postać, n. p. jest długim i cienkim prostopadłościanem. Jeśli go położymy na boku, postawimy pionowo lub wstawimy do szklanki *nie zmieni postaci*, pozostanie takim / prostopadłościanem, jak przedtem. Podobnie zachowuje się kawałek żelaza, kawałek

/ samym

szkła, kawałek kauczuku. Każdy ma własną postać i zachowuje ją, w zwykłych warunkach, bez zmiany wiłocznej. Nazywamy dlatego kawałek drzewa ciałem *stałem;* kawałek żelaza, szkła, kauczuku jest podobnie ciałem stałem. Zupełnie inaczej zachowuje się *woda*. Woda nie ma wcale własnej postaci; nie można powiedzieć: „kawałek wody“. Nalana do szklanki woda przybiera postać jej wnętrza; przelana do karafki, przybiera postać wnętrza karafki (rys. 45). *Woda zmienia postać z wszelką łatwością.*


Rys. 45

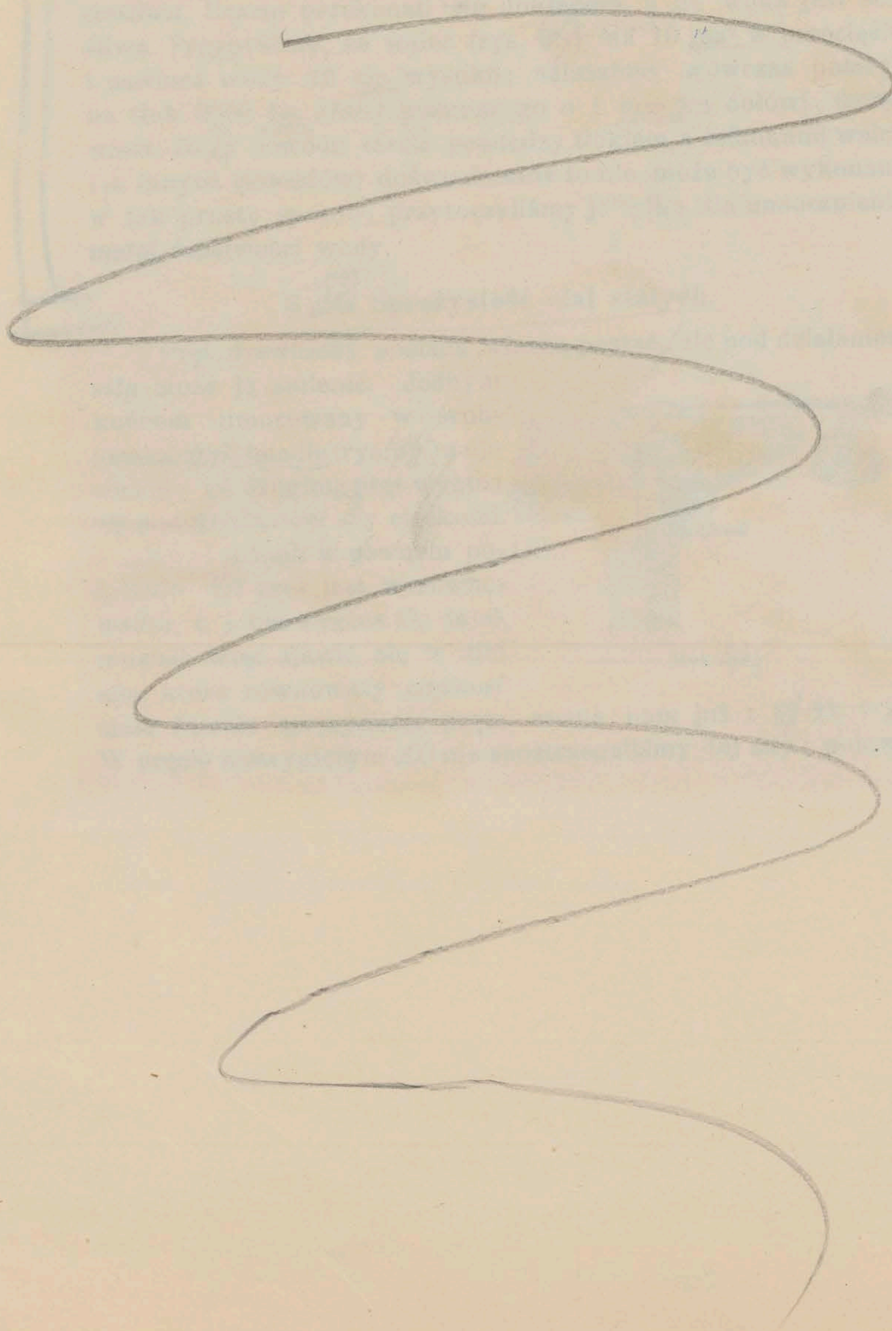
Przypatrzmy się postaci wody w jakiemkolwiek naczyniu. Wszędzie, gdzie styka się ze ścianą naczynia, woda przylega do ściany i przyjmuje jej postać; lecz od góry, na powierzchni swobodnej, gdzie styka się z powietrzem, woda układa się *płasko i poziomo.* Jeśli przechylimy naczynie, woda zmieni postać, ale w taki sposób (rys. 46), że powierzchnia jej pozostanie płaska i pozioma. Woda jest przykładem *ciała ciekłego* czyli *cieczy.*


Rys. 46

Prócz wody jest jeszcze wiele innych cieczy. Cieczą jest naprzykład miód; i miód także wypełnia całkowicie dolną część szklanki, a na powierzchni układa się płasko i poziomo. Zatem, dopóki jest w spoczynku, miód zachowuje się podobnie jak woda; gdy jest w ruchu, zachowuje się pod pewnym względem inaczej. Przechylając szklankę z miodem, widzimy, że zmienia on postać *powolniej* niż woda, bardziej opieszale, jak gdyby przezwyciężał jaką przeszkodę. Można dojrzeć przytem przez bardzo krótką chwilę powierzchnię cieczy w położeniu pochyłem, czego w wodzie dostrzedz niepodobna. Podobnie jak miód zachowuje się olej, syrop, gliceryna, smoła. Przybierają one *ostatecznie* kształt naczynia i rozlewają się poziomo i płasko; dlatego nazywamy je *cieczami.* Ale czynią to opieszale, zużywają na to stosunkowo wiele czasu; dlatego nazywamy je cieczami *lepkiemi.* Inaczej mówimy, że są to ciecze mało *ruchliwe,* gdy przeciwnie woda, alkohol, eter są to ciecze bardzo ruchliwe.

Do wstępu § 56 na poprzedniej stronie

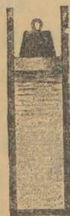
Woda zmienia postać z łatwością i stawia słaby opór działania, zmierzającemu łagodnie i powoli do takiej zmiany. Jeżeli jednak usiłujemy bardzo raptownie wywołać ruch w większej masie wody, doznajemy od niej znacznego bezwładnego oporu /§ 21/, takiego samego, jakiego doznajemy od każdego ciała, któremu chcemy udzielić dużego przyspieszenia /§ 26/. Wioślarz odpycha siebie /a wraz ze sobą odpycha czółno/ od warstw wody, które wiosłem usiłuje poruszyć. Jeżeli uderzy zbyt nagle, może wiosło złamać.



72
65

§ 57. Ściśliwość cieczy.

Woda zmienia zatem *postać* z wszelką łatwością; ~~tymczasem~~ *objętość* zmienia, przeciwnie, z największą trudnością. Gdy wkładamy palec do wody, ustępuje ona łatwo, lecz podnosi się zaraz dokoła tak, iż zachowuje bez zmiany swoją dawną objętość. Spróbujmy przeszkodzić wodzie w ~~jej~~ dążności do zachowywania objętości bez zmiany. Weźmy (rys. 38.) walec z tłokiem, szczelnie przystającym, i próbujmy ~~tłok~~ wcisnąć ~~do wody~~ bezpośrednim naciskiem dłoni tłok ku dołowi. Nie zdołamy popchnąć tłoka ani o milimetr ku dołowi, jeśli woda nie przeciśnie się pomiędzy tłokiem a ścianą naczynia. ~~Tu bowiem~~ Usiłujemy tu zmienić już nie postać, lecz objętość wody, mianowicie usiłujemy objętość tę zmniejszyć czyli wodę *ścisnąć;* to zaś wymagałoby siły, której człowiek wywrzeć ~~bezpośrednio~~ nie może bezpośrednim naciskiem dłoni.

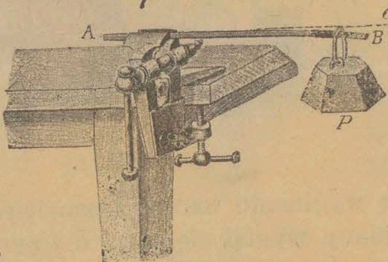


Rys. 47.

Woda jest więc bardzo trudno ściśliwa czyli *bardzo mało ściśliwa.* Uczeni przekonali się dokładnie, o ile woda jest ściśliwa. Przypyśćmy, że walec (rys. ~~38~~ 47) ma 10 *cm²* w przecięciu i zawiera wody 10 *cm* wysoko; należałoby wówczas położyć na tłok 2000 *kg*, ażeby posunąć go o 1 *mm* ku dołowi. ~~Oczywista, że~~ Z powodu tarcia pomiędzy tłokiem a ściankami walca i z innych powodów) doświadczenie to nie może być wykonane w tak prosty sposób; przytoczyliśmy je tylko dla unaocznienia małej ściśliwości wody.

§ 58. Sprężystość ciał stałych.

Pręt drewniany posiada własną postać (§ 55.), ale pod działaniem *siły* może ją zmienić. Jednym końcem umocowany w śrubsztaku czyli imadle (rys. 48.) a obciążony na drugim, pręt wygina się pod działaniem siły ciężkości. Ponieważ jednak w pewnem położeniu *AB* pręt jest w równowadze, t. j. nie wygina się dalej, musiała więc zjawić się w nim siła, która równoważy ciężkość ciała *P*, *siła sprężystości* pręta, znana nam już z §§ ~~11. i 29.~~ 3-go



Rys. 48.

W pręcie niewygiętym *AC* nie spostrzegaliśmy tej siły; pojawia

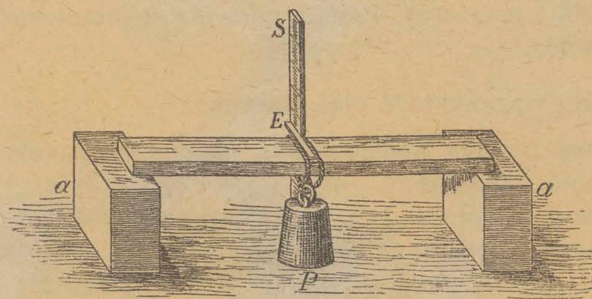
się ona dopiero w pręcie zginanym i staje się coraz większa, im bardziej ga zginamy. Jeśli uwolnimy pręt od działania obcej siły, siła sprężystości przywraca go do zwykłej postaci (jeśli wygięcie nie było zbyt znaczne); ~~ale też w miarę~~ powracania do tej postaci ~~samą~~ coraz bardziej słabnie i niknie.

gdy
H którąkolwiek jednak pręt
H siła sprężystości

Doświadczamy podobnie sprężystości pręta stalowego albo pałeczki szklanej; wyginanie na końcu albo zginanie w pośrodku, okazują one także sprężystość. Taśma kauczukowa wyciągana, piłka, ściskana w dłoni, sprężyna stalowa skręcana również okazują sprężystość. Co wogóle czynimy, gdy ciała wyginamy, zginamy, wyciągamy, ściskamy, skręcamy? Zmieniamy wogóle *postać* tych ciał. Zatem powiadamy: sprężystość ciał stałych występuje na jaw wówczas, gdy zmieniamy postać tych ciał, choćbyśmy nie zmieniali przytem ich objętości. *Ciała stałe mają sprężystość postaci.*

§ ~~47~~ 59. Różne ciała są rozmaicie sprężyste.

Weźmy cztery *sztabki* czyli pręciki prostopadłościenne kształtu dokładnie jednakowego; niechaj pierwszy będzie ~~n. p.~~ stalowy, drugi mosiężny, trzeci szklany, czwarty drewniany. W pośrodku każdego pręcika przytwierdzamy wskazówkę *E* (rys. 40.), do której zbliżamy skalę *S*; kładziemy pręciki końcami na podstawkach *a a* i obciążamy w pośrodku ciężarami *P*. Zobaczymy, że pręciki sprzeciwiają się wyginaniu bardzo rozmaicie. Przypuśćmy, że pręcik drewniany wygiął się n. p. o 4 przedziałki na skali pod działaniem ciężaru 1 *kg*; ażeby o tyleż wygiąć pozostałe pręciki, musimy zawiesić przeszło 5 *kg* na szklanym, przeszło 8 *kg* na mosiężnym i prawie 18 *kg* na stalowym. A zatem siła sprężystości, która objawia się w pręcikach wobec jednakowego wygięcia



Rys. 40.

dać antykwę

jest bardzo rozmaita. Powiadamy też: Stal jest bardzo sprężysta.

drewno jest znacznie mniej sprężyste od stali; sprężystość szkła jest mniejsza niż sprężystość stali, większa, niż sprężystość drewna.

§60. GRANICA SPRĘŻYSTOŚCI

Znajomość praw sprężystości jest niezbędna w inżynierji, w budownictwie, w różnych gałęziach przemysłu i rękodzieł. Gdy układamy podłogę, sufit, wiązanie dachowe; gdy przyrządzamy ławkę lub półeczkę do szafy; gdy budujemy most lub rzucamy kładkę przez strumień; gdy na hak wbitym w ścianę, zawieszamy ciężkie przedmioty, powinniśmy starać się o to, ażeby belki, pręty, deski, które obciążamy, doznawały możliwie najmniejszego wygięcia. Istnieje ku temu ważna przyczyna, mianowicie następująca:

Jeżeli obciążymy pręcik stalowy w sposób, opisany w artykule poprzednim, a następnie ciężar odejmiemy, pręcik *odegnie się* t. j. powróci do ~~swej~~ pierwotnej postaci i nie będzie widocznego śladu, że był wygięty. Pręcik ołowiany zachowuje się inaczej. Jeśli go mocno wygniemy, nie okazuje dążności do przybrania pierwotnej postaci, zachowuje swą nową wygiętą postać *trwale*, t. j. nawet po uwolnieniu od działania siły ~~gnącej~~ wyginającej nie powraca do pierwotnej postaci. Ale rożnica pomiędzy zachowaniem się stali a ołowiu zależy od natężenia siły ~~gnącej~~ wyginającej. Przypuśćmy, że wygięliśmy pręcik ołowiany bardzo słabo zapomocą bardzo ~~nieznacznego~~ drobniutkiego ciężaru; wówczas powraca on, po uwolnieniu, do pierwotnej postaci, objawia zatem sprężystość tak samo, jak stalowy. Z drugiej strony przypuśćmy, że wygięliśmy pręcik stalowy, działaniem nadzwyczajnie znacznego, olbrzymiego ciężaru; wówczas i stalowy wygiąłby się *trwale*, utraciłby sprężystość, podobnie jak przedtem ołowiany. Mówimy więc, że *każde ciało jest sprężyste tylko do pewnej granicy;* ta granica jest daleka dla stali, a niedaleka dla ołowiu. Każde ciało, często albo długotrwale gięte, wyginane, wyciągane, skręcane, powoli traci sprężystość, czego przykłady spotykamy niemal w życiu codziennem.

§ ~~61~~ 61. Sprężystość ciał ciekłych.

Przypuśćmy teraz, że położyliśmy 2000 *kg* na tłok przyrządu z rys. ~~77~~ § ~~57~~; wskutek tego tłok obniżył się o 1 *mm*. woda ścisnęła się więc o jedną setną część ~~swej~~ objętości pierwotnej. Dalej tłok nie poruszy się ani o najmniejszą część milimetra; woda stawia teraz opór, który równoważy ciężar 2000 *kg*. Powiadamy zatem, ~~że~~ w wodzie ściskanej pojawiła się siła, która sprzeciwia się dalszemu ściskaniu; pod działaniem tej siły z jednej strony, a ciężaru z drugiej, tłok znajduje się w równowadze. Gdybyśmy nagle zdjęli ciężar, tłok poszedłby do góry, odepchnięty przez wodę, która wróciłaby do dawnej objętości. A zatem ~~mieliśmy~~ mamy tutaj w wodzie siłę, podobną do sprężystości w drzewie, w szkle, kauczuku lub stali. Lecz, gdy w ciałach stałych objawia się ona przy zmianach *postaci*, w wodzie obja-

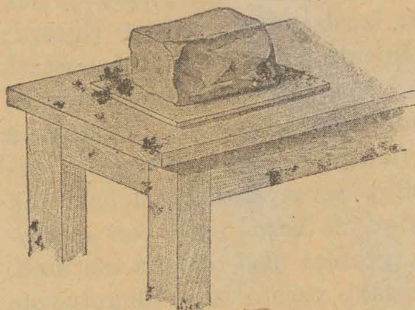
antykwa
antykwa

wia się przy zmianach *objętości*. Możemy więc powiedzieć: *woda ma sprężystość objętości.*

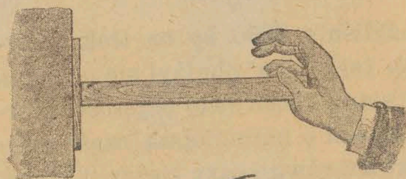
Podobnie jak woda, zachowują się inne ciecze. Sprężystość objętości jest ogólną cechą ciał ciekłych. Jak wiemy, ciała ciekłe nie stawiają trwałego oporu zmianie postaci: prędzej czy później każda ciecz (§ 55) poddaje się działaniu siły, dążącej do zmiany jej postaci. A zatem *ciecze mają sprężystość objętości, lecz nie mają trwałej sprężystości postaci.*

§ 62. Ciśnienie.

Deseczka. leżąca na stole i dźwigająca ~~ciężar~~ ciało ciężkie na sobie (n. p. kamień, jak na rys. 50), jest *przyciśnięta* do stołu, wywiera *ciśnienie* na powierzchnię stołu. Ciśnieniem nazywamy więc siłę, działającą na powierzchnię ciała. W przykładzie powyższym ciśnienie sprawia siła ciężkości; takie ciśnienie działa z góry na dół pionowo, ponieważ siła ciężkości działa w tym kierunku. Lecz inne siły mogą również sprawiać ciśnienie, n. p. siła naszych mięśni, siła sprężystości; te siły mogą sprawiać ciśnienie i w i innych kierunkach. Przyciskając ~~n. p.~~ deseczkę do ściany ręką, czy bezpośrednio, czy za pośrednictwem n. p. pręta (rys. 51.), wywieramy na ścianę ciśnienie w kierunku poziomym.



Rys. 50



Rys. 51

§ 63 Ciśnienie całkowite i ciśnienie jednostkowe

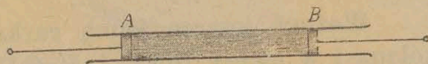
Połóżmy ten sam kamień (rys. 50), raz na deseczkę, mającą 100 *cm²* pola, drugi raz na deseczkę, mającą 200 *cm²* pola. Ta sama siła rozpościera się w pierwszym razie na 100, w drugim razie na 200 *cm²*. Zatem na 1 *cm²* wypadnie w pierwszym razie dwa razy więcej siły, niż w drugim. Widzimy zatem, że trzeba odróżnić siłę całkowitą, czyli *ciśnienie całkowite* na pewną powierzchnię, od *ciśnienia na jednostkę pola*, czyli od ciśnienia *jednostkowego*. Ciśnienie całkowite jest na

obu deseczkach jednakowe, mianowicie równe ciężarowi kamienia. Ciśnienie jednostkowe jest dwa razy większe na mniejszej deseczce, niż na większej. Ten sam ciężar na deseczkach, mających 50 cm^2 lub 25 cm^2 pola, dałby ciśnienie jednostkowe cztery lub ośm razy większe, aniżeli na deseczce o polu 200 cm^2.

~~Każda~~ Bardzo cienka tafelka *kraje* swym brzegiem czyli wchodzi stosunkowo łatwo w ciała zbite. Możemy to wytłómaczyć według poprzedzających objaśnień. Brzeg tafelki jest to powierzchnia o bardzo małem polu, więc siła naszych mieśni wytwarza na nim łatwo znaczne ciśnienie. ~~Podobnie możemy wytłómaczyć, przynajmniej po części, działanie noża i nożyczek, działanie piły, dłuta, igły, gwoździa.~~

§ 64. Ciśnienie cieczy.

Można wywrzeć ciśnienie za pośrednictwem pręta; podobnie można je wywrzeć za pośrednictwem wody. Weźmy rurkę AB (rys. 52), pełną wody i zamkniętą tłokami, które przystają szczelnie do rurki, lecz mogą się w niej łatwo poruszać. Opieramy tłok A o deseczkę z rys. 51. i wywieramy siłę na drugi tłok B; wówczas przyciskamy deseczkę do ściany za pośrednictwem wody. *Zatem woda może przenosić ciśnienie.* Tutaj ciśnienie wody nie ma nic wspólnego z jej ciężarem; ciśnienie działa poziomo, jeśli rurka leży poziomo, gdy tymczasem siła ciężkości działa na dół pionowo. Jakim sposobem woda przenosi ciśnienie? Zważmy, iż unieruchomiliśmy tłok A, oparłszy go przez deseczkę o ścianę; ~~zatem~~, usiłując tędy wepchnąć tłok B, ~~usiłujemy~~ próbujemy tem samem ścisnąć wodę, zmniejszyć jej objętość, jak w § 57. Nic dziwnego, że woda opiera się temu; woda ma sprężystość objętości (§ 49.). Sprężystość wody opiera się naszemu działaniu na B, a zarazem za pośrednictwem A sprawia ciśnienie na deseczkę i ścianę.

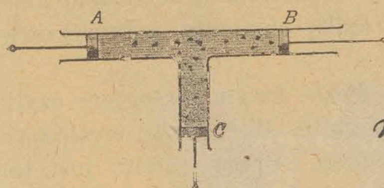


Rys. 52.

§ 65. Ciecze roznoszą ciśnienie.

Weźmy teraz drugą rurkę, jaką rys. 53 przedstawia w położeniu *poziomem*, tak właśnie, jak gdyby rurka leżała na papierze. Opatrzona jest ona w boczne kolanko, a w niem w tłok trzeci C, co do rozległości równy dwom pierwszym.

Umocnijmy tłok *A*, tłokowi *C* pozwólmy poruszać się swobodnie i wciskajmy *B*; cóż się stanie? Woda będzie ustępowała przed *B* i będzie pchała przed sobą tłok *C*; albowiem w ten sposób będzie ona zmieniała *postać* tylko, a nie *objętość*; a temu woda nie sprzeciwia się (§ 44). Przeciwnie, gdybyśmy umocowali i *C*, woda cisnęłaby nań tak samo, jak ciśnie na *A*.

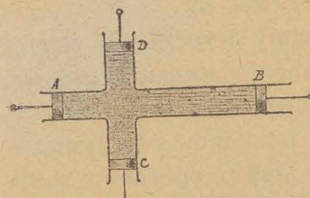


Rys. 44

Zatem i w bok woda przenosi ciśnienie. Na ściany rurki woda oczywiście ciśnie tak samo jak na tłoki, mianowicie rozpycha rurkę o tyle, o ile na to pozwala sprężystość szkła czy innego materyału, z którego rurka jest zrobiona. Powiadamy więc, że woda nie tylko *przenosi*, ale i *roznosi ciśnienie* na wszystkie strony. To samo czynią wszystkie ciecze.

§ 66. Ciecz może wykonywać pracę.

Weźmy jeszcze jedną rurkę, opatrzoną w dwa poziome kolana i w cztery tłoki *A*, *B*, *C*, *D* jednakowo rozległe; rys. 45. przedstawia ją, widzianą z góry. Co powiedzieliśmy o tłoku *C*, stosuje się także do czwartego tłoka *D*. A zatem, gdy wywieramy ciśnienie na *B* (rys. 45.), takież ciśnienie wywierane jest na *A*, na *C* i na *D*. Z jednego ciśnienia powstają więc tutaj trzy ciśnienia. Tego możemy dokonać zapomocą wody i tłoków, podobnie jak zapomocą dźwigni możemy podnieść do góry trzy kilogramy siłą jednego kilograma (§ 49.). Ale czego *nie możemy* dokonać zapomocą dźwigni, to *stworzyć* choćby najmniejszą ilość pracy z niczego (§ 29.) i tego zapomocą wody i tłoków także dokonać *nie możemy*. Istotnie: od czego zależy praca, jaką wykonywamy, pchając tłok lub jaką tłok wykonywa, pchając coś przed sobą? Jak wszelka wogóle praca, zależy ona zarazem od siły, która pcha (t. j. od całkowitego ciśnienia na tłok) i od długości drogi, którą tłok przebywa. Weźmy trzy rurki: rurkę z dwoma tłokami *AB* (rys. 43.), z trzema *ABC* (rys. 44.) oraz z czterema *ABCD*

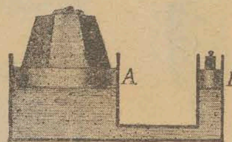


Rys. 45.

(rys. 56). Przypuśćmy, że w każdej rurce wepchnęliśmy tłok B o 1 cm, dając swobodę ruchu wszystkim pozostałym. W rurce AB (rys. 52.) sam tylko tłok A będzie cisnął i wysunie się na zewnątrz o centymetr; w rurce ABC (rys. 53.) każdy z dwóch tłoków A, C będzie cisnął i każdy wysunie się o pół centymetra, w rurce ABCD (rys. 54.) każdy z trzech tłoków A, C, D będzie wywierał ciśnienie, lecz każdy wysunie się tylko o trzecią część centymetra. Zatem, im więcej tłoków, tem więcej ciśnień, ale tem krótsze drogi, które tłoki przebywają; pomnażając liczbę tłoków, *nie zyskujemy* więc bynajmniej *na pracy*, *rozdrabniamy* ją tylko.

§ 67 Zasada pracy hydraulicznej

W rurce ABC (rys. 53.) tłoki A i C doznają każdy takiego ciśnienia, jakie wywieramy na B. Tak jest bez względu na to, czy A i C znajdują się daleko od siebie czy też blizko siebie. Zatem *tak będzie i wtedy*, kiedy *połączymy* ze sobą te tłoki i utworzymy z nich jeden tłok, dwa razy większy. Powiadamy więc: na tłok, dwa razy większy niż B, działa ciśnienie *całkowite* dwa razy większe, niż na B. Podobnie na tłok o polu trzy razy większem działa ciśnienie *całkowite* trzy razy większe. Innemi słowy: ciśnienie *na jednostkę pola* w naszej rurce jest wszędzie *jednakowe*.



Rys. 55

Na tej zasadzie budowane bywają *prasy hydrauliczne*, których zadaniem jest zamiana niezbyt znacznych całkowitych ciśnień, jakie może wywrzeć człowiek, na ciśnienie całkowite bardzo znaczne. Wyobraźmy sobie dwa walce, połączone ze sobą, i w nich dwa tłoki, jak na rys. 55. Przypuśćmy, że tłok A ma pole 25 razy większe, niż tłok B; w takim razie, położywszy na tłoku A 25 kg, dość będzie położyć na B 1 kg, ażeby osiągnąć równowagę. Tu zatem ciężarem, małoco większym nad 1 kg, możemy podnieść do góry 25 kg, podobnie jak na dźwigni (§ 29.); ale i tu nie zyskamy na *pracy*, gdyż trzeba będzie wcisnąć tłok B na dół o 25 cm, ażeby podnieść A do góry o 1 cm. Objętość wody zawartej pomiędzy tłokami nie może bowiem się zmienić.

Widzimy, że prasa hydrauliczna ma taki sam cel jak inne maszyny, opisane w rozdziale pierwszym, mianowicie zamianę pracy, którą rozporządzamy, na innego rodzaju pracę, która nam jest dogodniejsza, ale jeśli ma na celu osiągnięcia przytem jakiegoś zysku pracy tego celu mieć nie może, albowiem to jest wogóle niemożliwe/zob. §46/.

Zadania.

1. Ciśnienie całkowite 5 kg działa na powierzchnię 1/2 cm^2. Ile wynosi ciśnienie jednostkowe ?
2. Ile pracy wykonamy, działając ~~na~~ ciśnieniem jednostkowem 2 kg na powierzchnię 30 cm^2, wzdłuż drogi 10 cm ?
3. W prasie hydranlicznej działamy siłą 2 kg na mniejszy tłok "powierzchni 1 cm^2. Ile ma wynosić powierzchnia drugiego tłoka, ażeby ciśnienie całkowite na niego wywarte wynosiło 30 kg ?

§ 68. Ciśnienie w cieczy, wynikające z jej ciężaru.

Gdybyśmy ustawili stos cegieł, leżących jedna na drugiej, wówczas każda cegła dźwigałaby na sobie wszystkie, nad nią leżące, zatem byłaby przyciśnięta ciężarem tem większym, im położona jest niżej, im dalej od wierzchu. W naczyniu z wodą dzieje się podobnie. Każda warstwa wody dźwiga na sobie warstwy, nad nią leżące, jest więc przyciśnięta ciężarem tem większym, im niżej jest położona w cieczy, im dalej od powierzchni. Ciśnienie tego ciężaru, jak wszelkiego ciężaru, jest z góry na dół pionowe; ale warstwa, która doznaje tego ciśnienia, nie tylko *przenosi* je ~~na dół~~, lecz i *roznosi na wszystkie strony*, rozprowadza i wywiera je we wszystkich kierunkach, albowiem ciecze czynią tak zawsze (§ 52.). Powia-

w naczyniu

skierowane dalej ku dołowi

damy zatem, co następuje. W każdej cieczy panuje ciśnienie, chociażbyśmy jej wcale nie uciskali zzewnątrz; to ciśnienie wynika z ciężaru cieczy; dlatego też, im głębiej w cieczy, tem ono jest większe. Jakkolwiek wynika z ciężaru cieczy, owo ciśnienie działa nietylko z góry na doł pionowo, lecz także z dołu do gory, jak rownież w prawo, w lewo, naprzód i wstecz i wogóle we wszystkich kierunkach. Jeżelibyśmy działali na cicz jeszcze jakiemś innem czyli obcem ciśnieniem, ciśnienie to zostanie także rozprowadzone we wszystkich kierunkach i doda się do tego, które wynika z ciężaru.

§ 69. Jak wzrasta ciśnienie w głębi cieczy, gdy oddalamy się od powierzchni.

Ażeby lepiej zrozumieć, w jaki sposób objawia się w cieczach ciśnienie, wyobraźmy sobie naczynie pełne wody w spoczynku czyli w równowadze; rys.56 przedstawia je tak,

rys.56

jak gdyby było przecięte płaszczyzną pionową. Uważajmy w wodzie kwadracik a, o rozległości 1 cm^2, leżący poziomo; przypuśćmy, że ten kwadracik jest zanurzony o 4 cm pod swobodną powierzchnią wody. Aż do tej powierzchni stanęłyby na nim cztery sześciany, pełne wody, z których każdy miałby 1 cm^3 objętości i ważyłby 1 gram. Wyobraźmy sobie cieniutką warstewkę wody w miejscu tego kwadracika a; na tę warstewkę działa od góry ku dołowi ciśnienie równe ciężarowi 4 gramów. Na warstewkę o rozległości 2 cm^2 działałoby ciśnienie, równe ciężarowi 8 gramów itd. A zatem jednostkowe ciśnienie /§ 63/ w miejscu a, działające od góry ku dołowi, jest 4 g na 1 cm^2.

Dokoła kwadracika a wyobraźmy sobie teraz takie same kwadraciki b, c ....., po 1 cm^2 rozległości mające i leżące w tym samym jak a poziomie. Woda w miejscach b, c, ... ulega znowu jednostkowemu ciśnieniu 4 gramów na 1 cm^2, skierowanemu na dół. To ciśnienie przenosi się niżej, do wody położonej pod b, pod c itd.; tam zostaje wykręcone i rozprowadzone we wszystkich kierunkach. Na ~~warstew~~ warstewkę wody w miejscu a działa zatem od dołu ku górze również jednostkowe ciśnienie 4 g na 1 cm^2; ono równoważy się z poprzedniem, równie wielkiem jednostkowem ciśnieniem, skierowanem ku dołowi. Warstewka wody w miejscu a pozostaje tedy w równowadze.

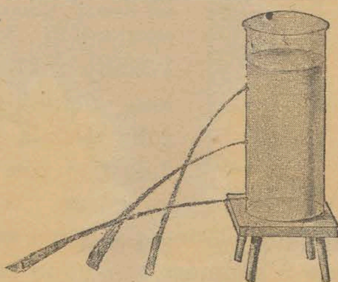
Podobnie rozumujemy o wodzie, znajdującej się

w któremkolwiek innem miejscu naczynia. Maleńka warstewka leżąca poziomo o 8 cm od swobodnej powierzchni, doznaje jednostkowego ciśnienia 8 g na 1 cm^2 z jednej swojej strony i równocześnie jednostkowego ciśnienia 8 gramów z drugiej swojej strony. To samo możemy powtórzyć, jeżeli owa maleńka warstewka wody ma pionowe albo ukośne położenie; jednostkowe ciśnienia, działające na nią z jej dwóch stron, są przeciwnie skierowane i równe sobie, jeśli ciecz jest w równowadze. Jednostkowe ciśnienia zależą tylko od zanurzenia warstewki pod gorną /swobodną/ powierzchnią cieczy.

Z powyższego rozumowania wynika, że, gdyby w naczyniu była rtęć zamiast wody, ciśnienia w głębi byłyby większe. Ponieważ ciężar właściwy rtęci wynosi 13.5 /§ 50/, przeto w poziomie 1 cm pod powierzchnią mielibyśmy jednostkowe ciśnienia 13.5 grama na 1 cm^2, w poziomie 2 cm pod powierzchnią mielibyśmy jednostkowe ciśnienie 27 gramow na 1 cm^2 itd.

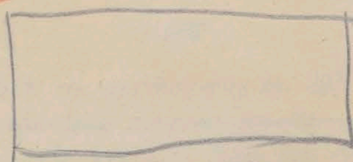
§ 70. Sprawdzenie doświadczalne.

W artykułach poprzednich ustanowiliśmy prawa ciśnienia w cieczach drogą rozumowania. Sprawdźmy je teraz doświadczalnie. Możemy to uczynić przy pomocy doświadczenia, którego urządzenie jest widoczne z rys. 57. To doświadczenie uczy po pierwsze, że woda ciśnie nie tylko na dół, ale także i w bok; powtóre, że ciśnie tem znaczniej, im dalej, od powierzchni. Istotnie, strumień z dolnego otworu dobiega dalej, niż strumień z górnego; stąd wnosimy, że wypchnęła go siła znaczniejsza, podobnie jak w § 35. kula wystrzelona dobiegła tem dalej (zob. rys. 25.), im większa siła zmuszała ją do ruchu.



Rys. 57.

Weźmy rurkę /rys.58/, w której za dno służy płytka ab, trzymana za pomocą nitki. Wstawiamy rurkę wraz z płytką do wody; możemy wypuścić

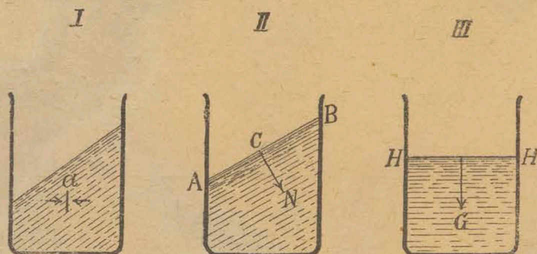


rys. 58.

nitkę z ręki, pomimo to płytka nie odpada. Płytka jest widocznie przyciskana ku górze działaniem ciśnienia panującego w cieczy, które jest wywierane na płytę od dołu ku górze.

§ 71. O powierzchni cieczy.

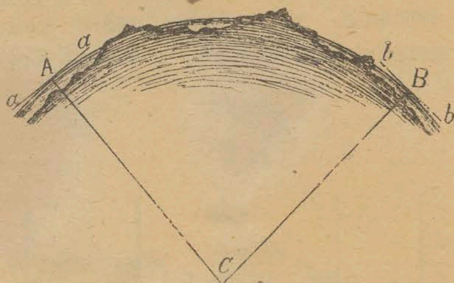
Jak wiemy, woda w szklance ma swobodną powierzchnię poziomą, kiedy jest w spoczynku. Istotnie, wyobraźmy sobie wodę w położeniu takiem, jakie przedstawia rys. 59. I. Łatwo zrozumieć, że woda nie może *trwać* w takiem położeniu. Wyobraźmy sobie ~~n. p.~~ stojący pionowo w wodzie kwadracik *a*; na rys. 53. I.; widzimy go z boku. Woda po prawej stronie kwadracika *a* znajduje się *dalej* od powierzchni, niż woda po lewej, zatem z prawej strony *a* woda ~~ciśnie silniej, niż z lewej~~ znajduje się pod ciśnieniem większem niż z lewej strony (por. §§ 68. i 69.), nie może więc zostać w tem położeniu, zupełnie podobnie jak wahadło na rys. 27. § 33., nie może zostać w położeniu OC. Woda popłynie ze strony prawej na lewą, jak wahadło poruszy się od C do A. Gdyby ciężkość kulki wahadła w położeniu OC działała w kierunku CN (rys. 27.), mielibyśmy równowagę w tem położeniu. Podobnie, gdyby ciężkość działała w kierunku *CN* (rys. 59. II.), mielibyśmy równowagę wody w położeniu *AB*. Ale tak nie jest; ciężkość działa *zawsze na dół pionowo*. Widzimy więc, że woda może być w równowadze jedynie w położeniu *HH* (rys. 59. III.), w którem jej swobodna powierzchnia ułożyła się *prostopadle* do kierunku *G* działania siły ciężkości.



Rys. 59

§ 72. O powierzchni mórz i oceanów.

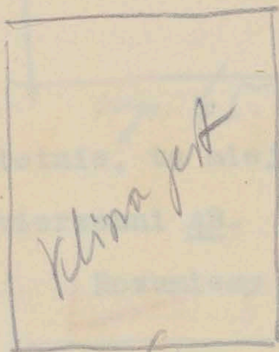
W szklance powierzchnia wody jest płaska i pozioma; lecz powierzchnia mórz i oceanów na ziemi jaki ma kształt? Wiemy, że ziemia ma kształt kuli i że wody mórz i oceanów pokrywają znaczną część jej powierzchni (jak to wyobraża rys. 60, na którym głębokość mórz i oceanów, oraz wyniosłość lądów jest oczywiście znacznie przesadzona w stosunku do rozmiarów rysunku). A zatem powierzchnia wód w morzach i oceanach jest *wypukła*, mianowicie kulista. Łatwo to zrozumieć na mocy poprzedzającego. Wiemy, że siła ciężkości w każdem miejscu powierzchni ziemi ma kierunek promienia ziemskiego w tem miejscu; w miejscu *A* ~~n. p.~~ (rys. 60.) działa wzdłuż *AC*, w miejscu *B* wzdłuż *BC*. Poziomem wody ~~więc~~ w miejscu *A* musi być, według poprzedzającego, kierunek *aa*, prostopadły do *AC*, w miejscu *B* kierunek *bb*, prostopadły do *BC* i t. d. Owóż obwód koła, *AB* n. p., ~~nie jest niczem innem, jak~~ jest właśnie zbiorowiskiem podobnych niezmiernie krótkich linii, jak *aa*, *bb* i t. d., prostopadłych do promieni *CA*, *CB* i t. d. Powierzchnia mórz i oceanów jest więc wypukła i kulista dlatego, że układa się wszędzie prostopadle do kierunku działania ciężkości.



Rys. 60

Łatwo to zrozumieć
Łatwo to zrozumieć

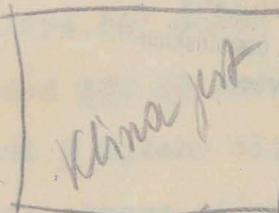
§ 73. Naczynia połączone.



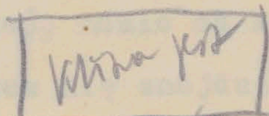
rys. 61

Do naczynia z wodą /rys.61/ wprowadzamy ściankę, nie dotykając nią dna. Powierzchnia wody nie zmieni się przez to. Czy ścianka znajduje się w środku, czy bliżej którejkolwiek ze ścian, ciecz po obu stronach stoi na jednakowem poziomie.

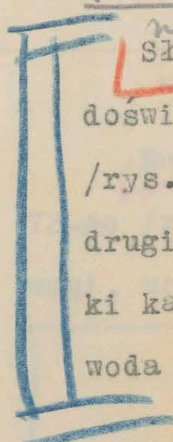
Gdy zanurzyliśmy w ten sposób ściankę do wody w naczyniu, rozdzieliliśmy je na dwa mniejsze naczynia, połączone ze sobą . Uważajmy dwa naczynia, łączące się ze sobą przez kanalik czyli przewód albo rurkę /rys. 62/; widzimy, że one nie różnią się niczem istotnem od poprzedniego /rys. 61/ po przedzieleniu go ścianką. Powiadamy zatem: jeżeli ciecz w naczyniach połączonych znajduje się w równowadze, swobodne jej powierzchnie leżą w tym samym poziomie. Czy te naczynia są jednakowego czy różnego przecięcia, czy są podobnego czy zupełnie odmiennego kształtu /rys.63/, jest rzeczą obojętną; prawo równowagi, które wypowiedzieliśmy, stosuje się bez zmiany.



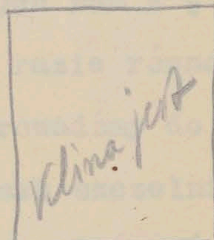
rys. 62



rys. 63



Słuszność wymienionego prawa stwierdzamy w codziennem doświadczeniu. Naprzykład w dwóch rurkach szklanych /rys.64/, z ktorych jedna jest szersza od drugiej /łączymy je zapomocą korka i rurki kauczukowej, jak pokazuje rysunek/, woda stoi jednakowo wysoko.

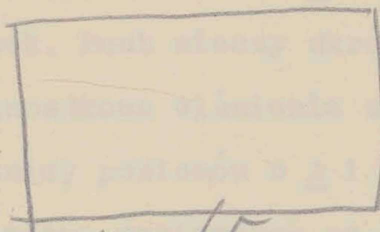


rys. 64

§ 74. Dlaczego w naczyniach połączonych ciecz w równowadze stoi jednakowo wysoko.

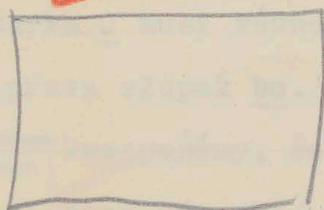
Wiemy z §§ 68-go i 69-go, że jednostkowe ciśnienie, które

panuje w danem miejscu cieczy, zależy tylko od odległości tego miejsca od swobodnej powierzchni. Stąd wynika, że we wszystkich miejscach poziomej płaszczyzny ab /rys.65/ jednostkowe ciśnienie jest jednakowe; istotnie, te miejsca leżą jednakowo daleko od swobodnej powierzchni AB.



rys. 65.

Rozumiemy teraz, dlaczego w naczyniach połączonych ciecz w równowadze musi stać jednakowo wysoko. Gdyby było inaczej, gdyby naprzykład woda w naczyniu B /rys.66/ mogła w równowadze stać wyżej niż w naczyniu A, odległość bB punktu b /poziomej płaszczyzny ab/ od powierzchni B byłaby większa niż odpowiednia odległość aA; zatem jednostkowe ciśnienie w b byłoby większe niż w a, warstewka mn doznawałaby ciśnienia większego od strony naczynia B niż od strony A, skutkiem czego nie mogłaby pozostawać w równowadze. Cała ciecz nie mogłaby pozostawać w równowadze, musiałaby popłynąć w kierunku od B ku A.

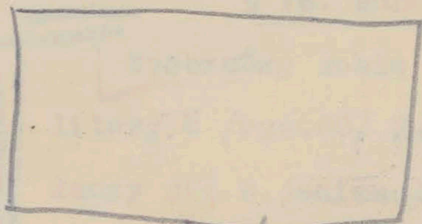


rys. 66

Widzimy zarazem, że jednostkowe ciśnienie w cieczy nie zależy wcale od kształtu, ani od objętości naczynia, w którem ciecz się znajduje.

§ 75. O mierzeniu ciśnień panujących w cieczy.

Nalejmy rtęci do rurek połączonych, znanych nam z § 73-go /rys.67/. Obiedwie powierzchnie rtęci, w razie równowagi, ustanawiają się w tym samym poziomie. Wprowadźmy do szerszej rurki A tłoczek szczelnie przystający i wywierajmy nań ciśnienie, bądź bezpośrednio ręką, bądź też za pomocą ciężarka C.



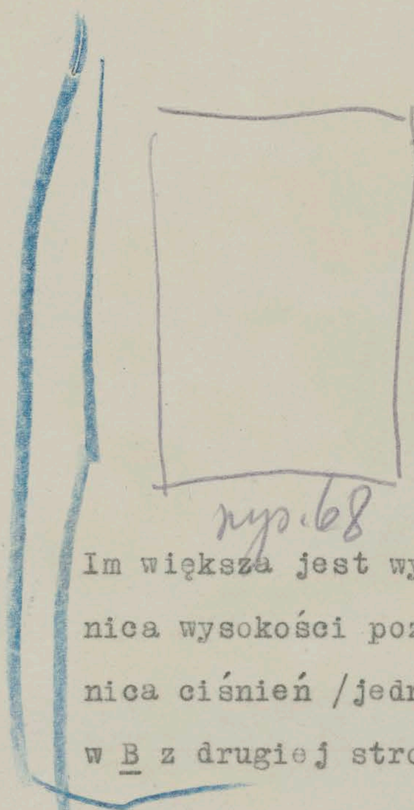
rys. 67

Rtęć opada w rurce A i podnosi się w B, jak pokazuje rysunek. Ruch cieczy wkrótce ustaje, mianowicie wówczas, gdy jednostkowe ciśnienie słupka rtęci bc, o wysokości równej różnicy poziomów w A i w B, zrówna się z jednostkowem ciśnieniem, wywieranem na tłoczek. Rzeczywiście, cała ta ilość rtęci, która znajduje się / w obu rurkach i w rurce kauczukowej/ poniżej poziomu aabb, pozostaje sama przez się w równowadze, jak wiemy z §§ 73-go i 74-go.- Dodatkowe ciśnienie ciężarka C musi równoważyć się zatem z ciśnieniem, wywieranem przez słupek bc.

Przypuśćmy, że przecięcie rurki A /a zarazem przecięcie tłoczka/ wynosi 4 cm^2; że przecięcie rurki B wynosi 1 cm^2; że położyliśmy ciężar 108 gramów na tłoczku. Zapytujemy: do jakiej wysokości wzniesie się rtęć w rurce B ? Ciśnienie całkowite wywierane przez C na tłok wynosi 108 gramów, zatem jednostkowe ciśnienie wynosi 108 : 4 albo 27 gramów na 1 cm^2. Ciężar właściwy rtęci jest 13.5 /§ 50/. Ponieważ przecięcie rurki B wynosi 1 cm^2, więc ciężar słupka bc o wysokości 2 cm wynosiłby 27 gramów, sprawiałby zatem ciśnienie jednostkowe 27 gramów na 1 cm^2. Powiadamy: w razie równowagi słupek bc musi mieć 2 cm wysokości. Czy rurka B stoi pionowo, czy jest pochylona; czy ma kształt dokładnego walca prostego, czy też posiada zwężenia lub rozszerzenia, jest przytem rzeczą obojętną; różnica wysokości poziomów aa i bb czyli/pionowo liczona/ wysokość bc wyniesie zawsze 2 cm.

§ 76. Manometr.

Wyobraźmy sobie rurkę szklaną, zgiętą w kształcie litery U /rys.68/ Ramię B rurki jest otwarte, ramię A łączy się z jakimkolwiek zbiornikiem Z dowolnego gazu



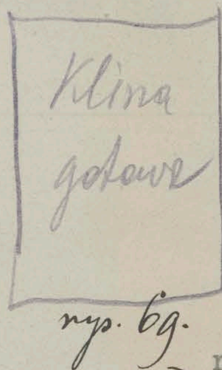
/§ 83/. Jeżeli poziom rtęci aa stoi niżej niż poziom cc, powiadamy: gaz zawarty w Z /oraz w A/ wywiera ciśnienie większe niż powietrze w B.- Taki przyrząd, służący do wykrywania i mierzenia różnic ciśnienia, nazywa się manometrem.

Im większa jest wysokość bc /czyli: pionowo liczona różnica wysokości poziomów aa i cc / tem większa jest różnica ciśnień /jednostkowych/ w Z i w A z jednej strony, w B z drugiej strony.

§ 77. Sprawdzenie doświadczalne.

Możemy sprawdzić i objaśnić rozumowania artykułów poprzedzających za pomocą prostych doświadczeń.

Do rurek połączonych (rys. 64) nalejmy rtęci: stanie w nich jednakowo wysoko. Nalejmy 10 gr wody nad rtęć w rurce węższej; jeśli rurka szersza ma n. p. 5 razy większą średnicę, więc 25 razy większe poprzeczne przecięcie, będziemy musieli nalać do niej, nad rtęć, 250 gr wody, ażeby przywrócić równość rtęciowych poziomów. W ten sposób zbudowaliśmy przyrząd podobny, jak na rys. 55-ym; innemi słowy, zbudowaliśmy małą prasę hydauliczną. Rtęć gra tu rolę cieczy, woda nad rtęcią działa tutaj tak, jak tam ciężary, położone na tłokach. — aut.

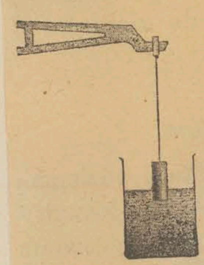


rys. 69.

Weźmy rurkę szklaną, zgiętą w dwa nierówne ramiona (rys. 51.); nalejmy do niej rtęci i wprowadźmy pod wodę, nie zanurzając otworu dłuższego ramienia. Zobaczymy, że rtęć podnosi się w prawem, dłuższem ramieniu, ~~a~~ mianowicie: gdy poziom lewy jest zanurzony o 13·5 *cm* pod powierzchnią wody, różnica poziomów rtęci jest równa 1 cm. Jeśli zanurzymy poziom lewy o 27 cm. pod powierzchnię, różnica poziomów podwoi się i wyniesie 2 cm. Jeżeli zanurzymy rurkę ~~kkkk~~ o 40.5 cm pod powierzchnię, różnica poziomów rtęci wyniesie 3 cm. Wyjaśniamy sobie łatwo wynik tego doświadczenia na zasadzie artykułów poprzednich.

§ 78 Ciecz usiłuje wyprzeć ciało zanurzone.

Zawieśmy na wadze walec (rys. 55.) i zrównoważmy go ciężarkami po drugiej stronie. Zanurzając walec do wody, zobaczymy, że ciężarki przeważają, jak gdyby walec stracił na ciężarze. Jakim sposobem tak się dzieje? Przypomnijmy sobie (§ 45.), że kiedy walec wkracza do wody, woda podnosi się dokoła w naczyniu. A zatem walec, obniżając się w wodzie, musi podnieść pewną ilość wody do góry; dlatego ciężar walca musi przezwyciężyć ciężar wody podnoszonej. Zupełnie podobnie, gdy na bloku, na dźwigni albo na wadze większy ciężar przeważa inny mniejszy; wówczas go wprawdzie przeważa, ale sam przez to traci tyle, ile ma do zwalczenia. N. p., jeśli 3 kilogramy, obniżając się, muszą podnieść jeden kilogram po drugiej stronie dźwigni lub wagi, wówczas działają tak, jak gdyby ważyły tylko dwa kilogramy. Taksamo walec, ważący n. p. 75 gramów, jeśli, obniżając się, musi podnieść n. p. 10 gramów wody do góry, działa na wagę tak, jak gdyby ważył tylko 65 gramów.

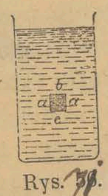


Rys. 70

Zapytujemy teraz: gdy walec zanurza się, ile wody musi podnieść do góry dokoła? Oczywiście tyle centymetrów sześciennych, ile ich zanurza do wody ze swej własnej objętości. Więc mamy takie prawidło: *ciało zanurzone do wody, traci pozornie na ciężarze; mianowicie traci tyle gramów, ile centymetrów sześciennych z jego objętości zanurzyło się w wodzie.* Prawidło to nazywa się zasadą Archimedesa. Możemy je łatwo sprawdzić. Zważmy ciało *C* naprzód w sposób zwykły, potem zanurzmy je do naczynia, (rys. 45.), tak, jak opisano w § 53.; zważmy je powtórnie, zanurzone w wodzie. Przekonamy się, że ciało zanurzone zachowuje się tak, jak gdyby ważyło mniej, a mianowicie o tyle mniej, ile waży woda, wypchnięta przez nie do naczynia *D* (rys. 44.).

§ 79 Skąd powstaje w cieczach parcie do góry.

Powiadamy zatem, że każda ciecz usiłuje wyprzeć do góry wszelkie zanurzone w niej ciało. Skąd bierze się ta siła? Możemy na to odpowiedzieć na zasadzie §§ 68. i 69. Wyobraźmy sobie mały sześcian n. p. szklany, zanurzony w wodzie (rys. 71., na którym naczynie i sześcian widzimy z boku). Przypuśćmy, że sześcian ma po 1 centymetrze szerokości, długości i wysokości. Przypuśćmy, że ścianka górna *b* leży pod powierzchnią wody w odległości 4 *cm*; w takim razie ścianka dolna *c* leży pod nią w odległości 5 *cm*. Zatem, według § 57., ciśnienie wody na górną ściankę *b* równa się ciężarowi 4 gramów, a ciśnienie wody na dolną ściankę *c* równa się ciężarowi 5 gramów. Pierwsze ciśnienie działa z góry na dół, drugie z dołu do góry. Te ciśnienia nie równoważą się, skoro drugie, działające od dołu, jest większe; na sześcian działa ostatecznie z dołu do góry siła, równa ciężarowi 1 grama. (Na ścianki boczne *a a* działają równe ciśnienia, wprost przeciwne sobie, więc znoszą się dokładnie). To zatem jest przyczyną parcia do góry, którego doznaje sześcian; wskutek tego, zajmując objętość 1 *cm*³, traci pozornie 1 gram na ciężarze. Gdyby miał objętość n. p. 15 *cm*³, straciłby pozornie 15 gramów na ciężarze.



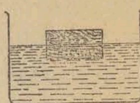
Rys. 71.

które

artystyczny

§ 80. O ciałach pływających.

Wyobraźmy sobie (rys. 72) kawałek drzewa, przypuśćmy o objętości 10 cm^3. Jeśli zanurzymy go do wody, woda wypiera go do góry siłą 10 gramów. Tymczasem kawałek drzewa o objętości 10 cm^3 waży tylko 5 gramów (§ 50); siła ciężkości ciągnie go na dół siłą 5 gramów. Zatem kawałek drzewa nie może tonąć w wodzie ani bujać w niej swobodnie; ~~lecz~~ musi iść do góry. Gdy dojdzie do powierzchni, kawałek drzewa zacznie wynurzać się z wody; im bardziej się wynurzy, tem mniejszego parcia do góry ~~będzie doznawał~~ od cieczy. Oczywista, że przestanie wynurzać się wtedy, kiedy parcie cieczy stanie się równe jego ciężarowi. Powiadamy ~~zatem~~: *ciężar cieczy, którą wypiera ciało pływające, jest równy całemu ciężarowi tego ciała.* Możemy to sprawdzić zapomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 44, § 55. Napełniwszy naczynie A wodą aż do ustania wpływu, kładziemy na wodę kawałek drzewa lub korka. Ciało to wypchnie do D tyle gramów wody, ile samo waży.



Rys. 72

ciężarem

wyna

doznaje

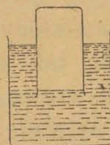
Na zasadzie artykułów poprzednich i niniejszego łatwo wytłómaczyć, dlaczego pod wodą poruszamy ręce i nogi tak swobodnie, jak gdyby były pozbawione ciężaru; dlaczego dźwigamy pod wodą ciężary, których nie możemy wznieść ponad wodę; dlaczego duża pusta beczka może wydobyć z dna rzeki ciężki kamień; dlaczego kawałek mosiądzu lub szkła tonie w wodzie, a kubek mosiężny lub butelka szklana nie tonie; dlaczego trudno jest utrzymać się na nogach w rzece o wartkim prądzie, jeśli woda sięga do szyi; dlaczego lód pływa po wodzie, a żelazo po rtęci (zob. § 50).

Zadania.

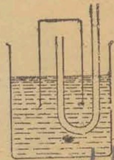
1. Ile wynosi ciśnienie jednostkowe na dnie stawu głębokiego na 3 m.
2. Ciężar właściwy terpentyny wynosi 0.9. Jak wysoki jest słup tej cieczy, wywierający takie samo ciśnienie, jak słup wody, który ma 100 cm wysokości ?
3. Ile gramów na cm^2 wynosi jednostkowe ciśnienie, wskazane przez manometr rtęciowy, gdy różnica poziomów rtęci wynosi 40.5 cm?
4. Ile traci na ciężarze ciało o objętości 45 cm^3 zanurzone 1/ w wodzie, 2/ w terpentynie, 3/ w rtęci?
5. Ciężarek ołowiany wazy w powietrzu 150 gr, w wodzie 137 gr. Ile wynosi ciężar właściwy ołowiu?
6. Dlaczego łatwiej jest pływać po morzu aniżeli po rzece ?

§ 81. O powietrzu

Często zapominamy o powietrzu, w którem jesteśmy zanurzeni. Nie widzimy powietrza, nie posiada ono zapachu, zazwyczaj nie przeszkadza naszym ruchom; dlatego zwracamy na nie mało uwagi. Naprzykład powiadamy, że szklanka, w której nic nie dostrzegamy, jest *próżna* czyli *pusta*. Tymczasem rzeczywiście nie jest ona pusta; zawiera ona powietrze, które, gdy jest ściskane, stawia opór. Zanurzając szklankę dnem do góry do wody (rys. ~~60~~ 73), zobaczymy, że woda nie wchodzi do szklanki; poziom jej w szklance jest niższy, niż dokoła. Tak nie mogłoby być według § 55., gdyby na wodę w szklance nie działało jakieś ciśnienie, nie pozwalające wyrównać się obu poziomom. Powiadamy zatem: powietrze stawia opór, gdy jest ściskane; *powietrze ma sprężystość objętości.*


Rys. ~~60~~ 73

Powietrze stawia tu opór dlatego, że nie może ujść, że wdzieranie się wody do szklanki musiałoby zmniejszyć *objętość* jaką powietrze zajmuje. Lecz *postaci* własnej (zob. § 55) powietrze nie posiada, podobnie jak jej nie posiada woda. Zmienione w swej postaci, nie okazuje ono dążności do przybrania jej napowrót, jak to czyni stal albo kauczuk. Powietrze nie ma więc sprężystości postaci. Pomyślmy, jak dalece bylibyśmy skrępowani w codziennych naszych czynnościach, gdyby powietrze miało sprężystość postaci. Pozwólmy ujść powietrzu, zawartemu w szklance, rys. ~~60~~ 73; wprowadźmy n. p. szklankę odrazu razem z rurką do wody, jak to widzimy na rys. 61., a zobaczymy, że woda podnosi się w szklance do poziomu tego samego, na jakim stoi dokoła.


Rys. ~~61~~ 74

Jeżeli jednak usiłujemy wywołać ruch nagły i szybki w powietrzu, które przedtem było w spoczynku, doznajemy od powietrza bardzo znacznego bezwładnego oporu, zupełnie podobnie jak możemy go doznać od wody /§ 56/. Z tego powodu ptak albo też samolot /aeroplan/, gdy uderza skrzydłem raptownie, doznaje oporu, który pozwala mu przez chwilę przeciwdziałać sile ciężkości i unosić się w powietrzu. Nabój dynamitowy, położony na powierzchni skały, może ją strzaskać, gdy wybucha; strzaskanie skały jest widocznie łatwiejsze, niż gwałtowne odepchnięcie ku górze przylegającej masy powietrza.

§ ~~65~~ 82. Powietrze jest łatwiej ściśliwe, niż woda.

Powietrze zatem ma sprężytość objętości; zobaczymy, jak znaczną. Wiemy, że woda jest bardzo mało ściśliwa (§ ~~45~~ 57). Powróćmy do przyrządu (rys. ~~38~~ 47), który posłużył w § ~~45~~ 57 do unaocznienia małej ściśliwości wody. Gdyby w tym samym przyrządzie zamiast wody było powietrze, nie potrzebaby było wówczas 2000 *kg*, dość byłoby położyć $\frac{1}{10}$ *kg* czyli 100 gramów, ażeby wcisnąć tłok o 1 *mm* ku dołowi. Doświadczenia tego nie można oczywiście wykonać w tak prosty sposób;

antykwą

przytaczamy je tylko dlatego, żeby wyjaśnić różnicę w ściśliwości powietrza a wody. Powietrze jest znacznie łatwiej ściśliwe niż woda.

§ 83. O ciałach gazowych i ich najważniejszych własnościach.

Znamy rozmaite ciała, których niektóre własności są całkiem odmienne ~~xxdix~~ od własności powietrza, które jednakże co do sprężystości i ściśliwości są podobne do powietrza; nazywamy je ciałami gazowemi albo krócej gazami. Znamy naprzykład wodór, który może palić się; znamy gaz ciężki i duszący, bezwodnik węglowy; znamy zielonawo-żółtawy chlor, gryzący amonjak; siarkowodór, odznaczający się nieznośnym ~~opa~~ zapachem; gaz oświetlający, tak bardzo pożyteczny w gospodarstwie domowem, chociaż trujący. W nauce Chemji uczymy się badać te ciała i rozpoznawać ich odrębne własności.

Mimo tak znacznych różnic, gazy mają wiele podobnych i wspólnych własności. Widzieliśmy przed chwilą, że powietrze, tak samo jak woda, nie ma wcale własnej postaci i zmienia ją z wszelką łatwością. To samo możemy powiedzieć o innych gazach. Gazy nie mają sprężystości postaci; dlatego też gazy, podobne jak ciecze /§§ 65, 66, 67./, przenoszą zzewnątrz wywierane ciśnienie i roznoszą je we wszystkie strony.

Jeżeli dalej ciało gazowe doznaje pewnego ciśnienia od ograniczających go ścian /np. od tłoka w przyrządzie /rys.47/ przed chwilą wspomnianym/, w takim razie, według zasady działania i przeciwdziałania /§ 4/ musi odpowiadać własnem, od wewnątrz skierowanem ciśnieniem, równie wielkiem jak wywierane od zewnątrz. Gazy wywierają własne ciśnienie, we wszystkich kierunkach.

Gdybyśmy położyli 2000 kg na tłok w walcu, zawierającym powietrze /§§ 57 i 82, rys.47/ ścisnęłoby się ono do małej części swej pierwotnej objętości; ale wywierałoby wówczas na tłok tak ogromne ciśnienie, że ciężar 2000 kg byłby przez nie zrównoważony. Tłok nie mógłby posunąć się niżej ani o najmniejszą część milimetra.

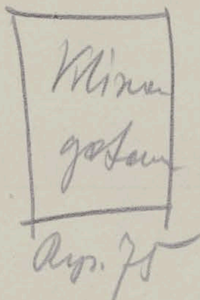
Widzieliśmy, że powietrze wypełnia całą objętość szklanki /rys.73/, od dna aż do powierzchni wody. Każdy gaz zachowuje się podobnie; jeżeli znajduje się w pewnem naczyniu, dochodzi do wszystkich części, do wszystkich zakątków tego naczynia. Dostrzegamy tutaj niejaką rożnicę pomiędzy własnościami zwykłej wody / i innych cieczy podobnych/ a własnościami gazów. Woda może zajmować część naczynia, w którem się mieści; możemy nalać trochę wody do szklanki tak, żeby ciecz wypełniała połowę albo trzecią część pojemności szklanki. Spostrzegamy wówczas w szklance powierzchnię swobodną wody, t.j. powierzchnię, która oddziala ciecz od znajdującego się nad nią ciała gazowego. W naczyniu, zawierającem zwykłe powietrze, nie dostrzegamy nic podobnego; nie tworzy się w niem powierzchnia swobodna, która odcinałaby gaz od reszty zawartości naczynia. Różnicę pomiędzy zachowaniem się cieczy a gazów, która się tutaj objawia, zrozumiemy lepiej w późniejszym /czwartym/ rozdziale tej książki.

§ 84. Ciężar powietrza.

Czy powietrze jest ciężkie ? Gdyby powietrze nie miało wcale ciężaru, dym z komina ani para z kotła nie mogłyby podnosić się w niem do gory. Rzeczywiście: czemu korek w wodzie idzie do gory? Ponieważ 1 cm^3 korka jest lżejszy niż 1 cm^3 wody /§ 80/. Widocznie dym i para w jednakowej objętości są

lżejsze od powietrza, skoro w niem idą do góry. Gdyby powietrze nie miało ciężaru, dym i para niemogłyby być lżejsze od powietrza.

Możemy sprawdzić to rozumowanie w sposób bardzo prosty. Posługujemy się w tym celu balonem szklanym czyli banią,

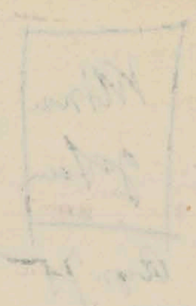


której szyjka jest zaopatrzona w szczelny kurek /rys.75/. Ważymy najprzód balon, wypełniony zwyczajnem powietrzem. Następnie, przyłożywszy usta do otworu szyjki, wyciągamy ssaniem o ile można jaknajwięcej powietrza. Zamykamy kurek /ażeby zewnętrzne powietrze nie napływało do balonu napowrót/ i ważymy balon powtórnie. Ciężar jest mniejszy niż w pierwszym ważeniu; powietrzem które wyssaliśmy, musiało mieć pewien ciężar.

§ 85. Ciśnienie otaczjącego nas powietrza /atmosferyczne/

Kula ziemska jest przykryta powłoką powietrza. Wejdźmy na wysoką wieżę, wstąpmy na szczyt góry, wznieśmy się balonem; znajdziemy tam wszędzie powietrze. A zatem żyjemy w głębi ogromnego oceanu powietrza, jak rośliny dna morskiego, które żyją w głębi ogromnego oceanu wody.

Wiemy jednakże z § 84-go, że ten ocean powietrza, ze ta atmosfera /jak go nazywamy/ ma ciężar. Wyobrażamy sobie dolną czyli najniższą warstwę atmosfery, tę, w której poruszamy się, którą oddychamy. Ta warstwa dźwiga na sobie wszystkie warstwy nad nią leżące; a zatem jest przygnieciona ciężarem tych warstw. Ten ciężar jest zewnętrzną siłą, na której działanie warstwa najniższa odpowiada równie wielkiem przeciwdziałaniem; powietrze w tej warstwie wywiera ciśnienie, odpowiadjce ciężarowi wszystkich warstw wyżej leżących. Jak w każdym gazie, ciśnienie to wyrównywa się we wszystkich kierunkach i jest wywierane we wszystkie strony. Takie ciśnienie otaczającego nas powietrza nazywamy zwykle ciśnieniem atmosferycznem.

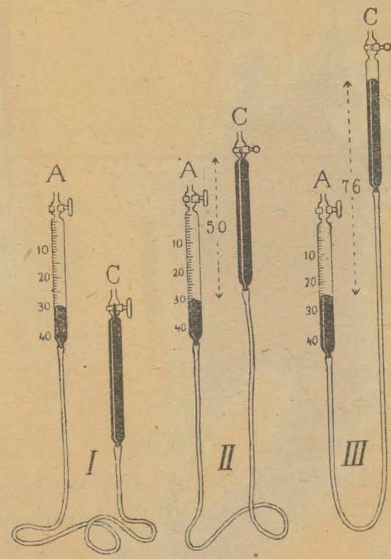


W jaki sposób moglibyśmy okazać naocznie, że ciśnienie atmosferyczne rzeczywiście istnieje ? Wiemy, że ono powstaje z ciężaru powietrza, podobnie jak ciśnienie w pobliżu dna wysokiego naczynia pełnego wody powstaje z ciężaru tej wody. Spróbujmy zatem postąpić podobnie jak w § 77-ym; spróbujmy posłużyć się podobnym manometrem rtęciowym, jak w przypadku cieczy /rys.69./ Nie możemy wprawdzie wyprowadzić prawego ramienia manometru po za obręb atmosfery; ale możemy, zamknąwszy to ramię, sprawić, ażeby nie było w niem wcale powietrza. Budujemy w tym celu przyrząd, opisany w artykule następnym.

§ 86. Barometr.

Dwie rurki : A, C są zaopatrzone w szczelne kurki, jak pokazuje rys.76; łączą się one ze sobą za pośrednictwem wytrzymałej kauczukowej ~~xxxkk~~ rury. Nalewamy rtęci do rurek, otwieramy obadwa kurki, następnie obniżamy

rurkę *C* tak, że rtęć przechodzi w niej poza kurek i nieledwie przelewa się górą (rys. ~~63~~, I.). W tem położeniu *zamykamy* kurek *C* i podnosimy rurkę *C* do góry. ~~(Kurek *A* może być przytem bądź otwarty, bądź zamknięty)~~. Podnosząc rurkę *C*, widzimy, że rtęć w niej nie opada; możemy podnieść kurek *C* o 20, o 50, nawet o 70 centymetrów powyżej rtęci w *A*, a rtęć w *C* nie opadnie (rys. ~~63~~., II.). Podnieśmy rurkę *C* jeszcze wyżej, np. tak, żeby kurek *C* był wzniesiony o metr ponad rtęć w *A*. Wówczas stanie się ~~coś nowego~~. Rtęć w *C* odrywa się od kurka, ~~opada~~ i zatrzymuje się na wysokości 76 *cm* ponad poziomem w *A* (rys. ~~73~~, III.). Jeśli podniesiemy rurkę *C* jeszcze wyżej, poziom rtęci nie podniesie się w niej, ani się nie zniży, lecz zostanie wzniesiony o 76 *cm* ponad poziom w *A*. *Powiadamy, że w rurce C, pomiędzy rtęcią a kurkiem, mamy teraz próżnię.* Istotnie, powietrze tam dostać się nie mogło ani przez kurek (jeśli jest szczelny), ani przez rtęć, ani przez szkło. Zresztą, opuszczając teraz rurkę *C* na dół, dostrzegamy, że rtęć mocno uderza o szkło, wydając odgłos suchy; znak, że tam niema powietrza, które (jakby poduszka) łagodziłoby uderzenie rtęci.



Rys. 63.

Czemu w położeniu III. (rys. ~~63~~) poziom rtęci w *C* trzyma się o 76 *cm* wyżej, od poziomu w *A*? Co podtrzymuje słup rtęci, 76 *cm* wysoki? Skoro pomiędzy rtęcią a kurkiem w *C* jest próżnia, przeto tam niema żadnego ciśnienia na rtęć, więc ciśnienie powietrza w *A* jest powodem różnicy poziomów. *Zwykłe atmosferyczne powietrze* (jakie nas otacza) *wywiera ciśnienie, które może podtrzymywać słup rtęci o wysokości 76 centy-*

Możemy tego dopiąć, biorąc zamiast otwartej rurki B

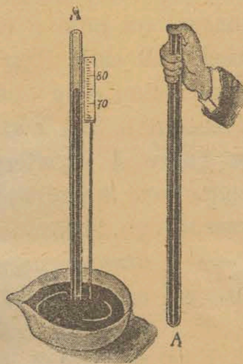
Rozumiemy teraz, dlaczego rtęć nie odrywała się

kurka *C*, dopóki on był wzniesiony nad poziom w *A* o 20, 50 lub 70 *cm* (rys. ~~63~~ 76, II.). Rozumiemy także, dlaczego, skoro już rtęć oderwała się i próżnia utworzyła się, dalsze podnoszenie rurki *C* nie miało wpływu na wzniesienie górnego poziomu nad dolnym. Bo próżnia, czy zajmuje małą objętość, czy dużą, nie wywiera żadnego ciśnienia.

Ciśnienie otaczającego nas powietrza nie jest jednakże dokładnie stałe; nie równa się ono zawsze ciśnieniu słupa rtęci o wysokości 76 centymetrów. Ciśnienie powietrza ulega nieustannym wahaniom, zależnym od stanu pogody. Jeżeli burza nadciąga, ciśnienie powietrza zmniejsza się nieraz dosyć raptownie. Przy pięknej pogodzie, przeciwnie, zwłaszcza zimą, gdy panują długotrwałe ~~xx~~ mrozy, ciśnienie powietrza bywa zwykle wysokie i mało zmienne. Widzimy zatem, że, zarówno z naukowych jak z praktycznych względów, jest rzeczą ważną umieć zmierzyć ciśnienie pranujące w danej chwili w powietrzu pewnej miejscowości. Do tego celu może przysłużyć przyrząd, który opisaliśmy w artykule niniejszym. Ażeby zmierzyć ciśnienie powietrza, wystarcza zmierzyć pionową różnicę wysokości poziomów rtęci w rurkach A i C /rys.76 III/. W tem znaczeniu nazywamy ów przyrząd barometrem.

§ 87 Doświadczenie Torricelliego.

Doświadczenie poprzednie można inaczej wykonać. Rurkę *A* (rys. ~~64~~ 77), u jednego końca zamkniętą, u drugiego otwartą, o długości, przenoszącej 76 *cm*, wypełniamy rtęcią. Następnie zamykamy ją palcem, przewracamy i wprowadzamy pod rtęć do płaskiego naczynia; odejmujemy palec, gdy otwór rurki zanurzy się pod rtęcią w naczyniu. Rtęć spada w rurce *A* i zatrzymuje się o 76 *cm* nad poziomem w płaskiem naczyniu. Możemy przekonać się o tem zapomocą krótkiej podziałki *S*, do której przytwierdziliśmy prosty drut stalowy, mający 65 *cm* długości. Obraz drutu odbija się w rtęci, łatwo więc zobaczyć, kiedy dotyka jej zwierciadła. ~~Powiadamy~~, że przyrząd ten jest tylko odmianą urządzenia, przedstawionego na rys. 63., III. Ciśnienie powietrza na rtęć w płaskiem naczyniu podtrzymuje tu słup rtęci, podniesiony w rurce *A*, z powodu, iż nad rtęcią w *A* jest próżnia, zupełnie podobnie ciśnienie powietrza na lewy poziom w dawniejszym przyrządzie (rys. ~~63~~ 76, III.) podtrzymywała prawy poziom, wzniesiony wyżej o 76 *cm*. W obu razach *ciśnienie atmosferyczne powietrza równoważy ciężar podniesionego słupa rtęci.*



Rys. ~~72~~ 77

H. Widriny

§ 88. Jak wielkie jest ciśnienie powietrza.

W przyrządzie, wyobrażonym na rys. 77, weźmy rurkę szerszą, n. p. rurkę B o przecięciu dwa razy większem, niż przecięcie poprzedniej rurki A. Czy słup, podniesiony w nowej rurce B, będzie miał również wysokość 76 *cm*? Gdyby tak było, słup w rurce B zawierałby dwa razy tyle rtęci, ważyłby zatem dwa razy więcej, niż słup w A; więc mogłoby się wydawać, że w B słup powinien być niższy; *ale tak nie jest.* Ciężar słupa w B będzie wprawdzie dwa razy większy, niż ciężar słupa w A; ale też zato będzie się rozpościerał na pole dwa razy większe. *Ciśnienie* zatem *na jednostkę pola* (§ 69.) będzie w obu razach jednakowe. Możemy więc powiedzieć, że *miarą ciśnienia powietrza jest słup rtęci o wysokości 76 cm;* nie potrzebujemy dodawać, jak wielkie ma być przecięcie tego słupa. Takie ciśnienie nazywa się ~~zwyklem atmosferycznem ciśnieniem lub~~ *ciśnieniem jednej atmosfery.*

Przeciwnie, jeżeli chcemy porównać ciśnienie powietrza z ciśnieniem, sprawianem n. p. przez kilogram na podstawę, musimy określić pole tej podstawy; kilogram bowiem ciśnie inaczej na pole o rozległości n. p. 10 cm^2, niż na pole o rozległości 20 cm^2. Przypuśćmy, że rurka A (rys. 64.) ma 1 cm^2 przecięcia; słup podniesionej w niej rtęci zawiera więc 76 cm^3 a zatem (§ 39.) waży $76 \times 13{\cdot}5 = 1026$ gramów. Zatem słup rtęci w rurce A wywiera ciśnienie przeszło kilograma na każdy centymetr kwadratowy przecięcia, na którem łączy się z rtęcią szerokiego naczynia; takie jest ciśnienie powietrza. *Powietrze atmosferyczne wywiera ciśnienie przeszło kilograma na centymetr kwadratowy.* Jest to potężne ciśnienie, bo centymetr kwadratowy to niewielka rozległość (rys. 65.). Na stół o rozległości naprzykład jednego metra kwadratowego powietrze ciśnie siłą ciężaru 10260 kilogramów.

1cm. kw.

Rys. 65.

[margin notes: ✓ aut. / może przez chwilę; czyli jednostkowe; ✓ aut.]

Zadania.

1. Ile wynosi ciśnienie powietrza /w gramach na cm^2/, gdy wysokość barometra wskazuje 70 cm rtęci ?
2. Ile wynosi wówczas ciśnienie całkowite wywarte przez powietrze na pole 3/4 m^2 ?
3. Jak wysoki byłby słup barometryczny, gdyby gęstość rtęci wynosiła 6.75 ?
4. O ile obniżyłby się poziom rtęci w barometrze o przekroju 1 cm^2, gdyby można było na jej powierzchni położyć ciężarek 40.5 gr.
5. Jak wyoskim słupem wody możnaby zrównoważyć ciśnienie powietrza.

89. Jak działa ciśnienie powietrza.

Ciśnienie powietrza działa na powierzchnię wszystkich ciał w niem zanurzonych; podobnie jak ciśnienie w cieczach, działa ono jednakowo na wszystkie strony: ciśnie zarówno z góry, jak od spodu oraz z boków. Z tego powodu nie spostrzegamy pospolicie skutków tego ciśnienia, jakkolwiek ciśnienie całkowite na powierzchnię naszego ciała jest bardzo znaczne.

We wnętrzu naczyń, mających choćby najmniejszy otworek, łączący je z powietrzem otwartem, podobnież w budynkach połączonych z niem kominami, szczelinami w drzwiach, oknach itp., ciśnienie jest takie samo jak zzewnątrz.

Tak samo będzie, jeżeli naczynie najprzód otwarte zamkniemy korkiem, albo za pomocą kurka. Powietrze w takiem naczyniu nie będzie wprawdzie bezpośrednio ściskane przez warstwy nad niem leżące, ale działaniem swem poprzedniem warstwy te wgniotły do naczynia powietrze już ściśnięte aż do ciśnienia atmosferycznego, czego zamknięcie albo przestawienie kurka w niczem zmienić nie może.

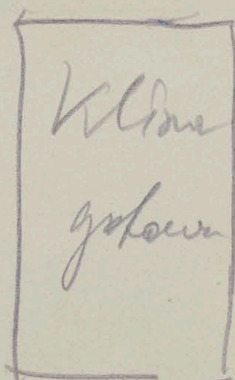
Ściany takiego naczynia, wypełnionego powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznem są nieco zgniecione ciśnieniem działającem jednakowo po jednej i drugiej stronie, ale nie istnieje w niem nacisk jednostronny, któryby zdołał naczynie zgnieść w sposób podobny, jak można to uczynić, ciśnąc na nie jednostronnie, np. ręką.

Inaczej rzecz będzie się miała, jeżeli do pewnej objętości wciśniemy powietrze więcej aniżeli go się zbiera pod ciśnieniem atmosferycznem, albo wtedy, jeżeli to powietrze rozrzedzimy, tak iż będzie go mniej, niż było pod ciśnieniem atmosferycznem.

Takie zgęszczenie albo rozrzedzenie możemy sprawić np.

w ten sposób, że pewną niezmienioną masa powietrza wciskamy w objętość mniejszą, albo też jeżeli je rozprowadzamy po objętości większej, aniżeli zajmowało pod ciśnieniem atmosferycznem.

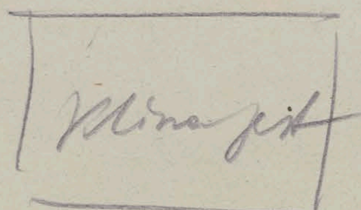
§ 90. Jak zachowuje się powietrze, gdy je zgęszczamy albo rozrzedzamy.



Rys. 79.

Powracamy do doświadczeń, któremi zajmowaliśmy się w § 86-im. Rysunek 79 wyobraża przyrząd, którym posługujemy się obecnie. Rurka A ma podziałkę, wskazującą, ile zawiera się w niej centymetrów sześciennych, poczynając od kurka. Otwieramy kurak w A i doprowadzamy rtęć do pewnej kreski. Oba poziomy /w A i w B/ stoją jednakowo wysoko /rys.79 I/, ponieważ na obadwa działa to samo atmosferyczne ciśnienie. Przekręcamy teraz kurek A; tym sposobem zamknęliśmy w rurce A pewną ilość powietrza pod ciśnieniem atmosferycznem. Podnosimy rurkę B; dostrzegamy wówczas dwa skutki: 1° objętość powietrza zamkniętego w A zmniejszyła się; to znaczy, że gęstość /§ 50/ tego powietrza wzrosła 2° pionowo mierzona odległość poziomów w A i w B powiększyła się; stąd wnosimy, że ciśnienie powietrza zawartego w A stało się większe /§ 76/. Jeżeli więc zmniejszamy objętość pewnej ilości powietrza /czyli, innemi słowy, jeżeli zwiększamy jego gęstość/, wówczas ciśnienie powietrza wzrasta.

Zmniejszaliśmy dotychczas objętość powietrza, zamkniętego w rurce A; w tym samym przyrządzie możemy tę objętość powiększać. Opuśćmy na dół rurkę B /rys.80/ zamiast podnosić do góry. Objętość powietrza w A powiększa się; poziom w rurce A stoi przytem wyżej niż w rurce B. A zatem powiet-



rys. 80.

rze zawarte w A wywiera teraz ciśnienie mniejsze niż atmosferyczne. Powiadamy zatem: jeżeli powiększamy objętość pewnej ilości powietrza /czyli zmniejszamy jego gęstość/, wówczas ciśnienie powietrza maleje.

Na rtęć w rurce B działa ciśnienie 1 atmosfery. Jeżeli zatem poziomy w A i w B stoją jednakowo wysoko, mówimy wówczas, że powietrze w A wywiera ciśnienie, równe ciśnieniu słupa rtęci o wysokości 76 cm; albo, jak krótko mówimy, ciśnienie 76 cm. Jeżeliby poziom w B stał /przypuśćmy/ o 38 cm wyżej niż w A, wyprowadzilibyśmy stąd wniosek, że powietrze w A wywiera ciśnienie 76 + 38 czyli 114 cm, lub inaczej 1.5 atmosfery. W ten sposób obliczamy ciśnienie powietrza zamkniętego w A z ~~xxxx~~ różnicy wysokości obu poziomów. Ustawiajmy teraz rtęć po kolei w pobliżu rozmaitych kresek rurki A; odmierzajmy za każdym razem pionową odległość obu poziomów, obliczając stąd ciśnienie powietrza w rurce A. Otrzymamy naprzykład

Objętość powietrza w *A*	Odległość pomiędzy poziomami *A* i *B*	Ciśnienie powietrza w *B*
30 cm^3	Zero	76 *cm* czyli 1 atm.
20 cm^3	38 *cm*	114 *cm* czyli 1·5 atm.
15 cm^3	76 *cm*	152 *cm* czyli 2 atm.
10 cm^3	152 *cm*	228 *cm* czyli 3 atm.

Widzimy, że, kiedy objętość powietrza zmniejsza się do połowy (n. p. z 30 do 15, z 20 do 10 cm^3), ciśnienie powiększa się w dwójnasób. Tak zachowuje się powietrze. *Ile razy zmniejszamy objętość pewnej ilości powietrza /ile razy zatem zwiększamy jego gęstość/, tyle razy powiększa się ciśnienie powietrza.*

Jeżeli poziom w B stoi niżej niż w A /rys.80/ wówczas, ażeby obliczyć ciśnienie powietrza, zamkniętego w A, odejmujemy pionową odległość poziomów od 75 cm. Wykonawszy doświadczenie, otrzymujemy naprzykład:

Objętość powietrza w A	Objętość między poziomami A i B	Ciśnienie powietrza zamkniętego w A
40 cm^3	19 cm	75 cm czyli 0.75 atm.
60 cm^3	38 cm	38 cm czyli 0.50 atm.

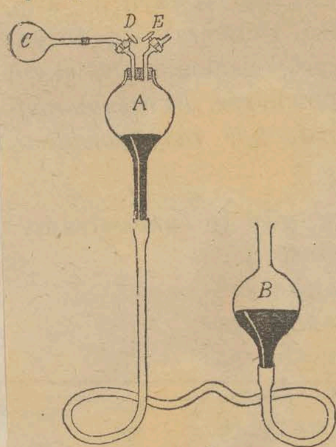
Porównajmy te ciśnienia z poprzedniemi:

Objętość powietrza	Ciśnienie	Objętość powietrza	Ciśnienie
20 cm^3	1.50 atm.	30 cm^3	1.00 atm.
40 cm^3	0.75 atm.	60 cm^3	0.50 atm.

Ile razy zwiększamy objętość pewnej ilości powietrza /ile razy zatem zmniejszamy jego gęstość/, tyle razy ~~xmxxxx~~ zmniejsza się ciśnienie powietrza. Łatwo zrozumieć, że obadwa prawidła, obecne i wypowiedziane przed chwilą, nie różnią się wcale między sobą i wyrażają tę samą zasadę, zwaną prawem ściśliwości gazów albo prawem Boyle'a /czyt.Bojla/

§ 91. Pompa pneumatyczna rtęciowa.

Ostatnie doświadczenie (rys. 80) naprowadza na pomysł zbudowania tak zwanej pompy pneumatycznej, która służy do wyciągania powietrza. Wyobraźmy sobie balon szklany *A* (rys. 81.), do którego wchodzą dwie rurki. Jedna prowadzi do naczynia *C*, z którego chcemy wyciągnąć powietrze; ta może być zamknięta kurkiem *D*. Druga prowadzi wprost na zewnątrz i może być zamknięta kurkiem *E*. Możemy zniżać i podnosić rtęć w balonie *A*, zniżając lub podnosząc balon *B*, który łączy się z pierwszym przez wytrzymałą rurkę kauczukową. Naprzód podnosimy rtęć w balonie *A* aż do kurków *D* i *E*. Następnie zamykamy *E*, łączymy *D* z naczyniem *C* i opuszczamy rtęć w *A*. Rtęć, opadając, pozostawiałaby w balonie próżnię, gdyby nie powietrze w *C*, które napływa do *A*. Jednak ta ilość powietrza, która pod ciśnieniem jednej atmosfery zajmowała objętość naczynia *C*, rozchodzi się teraz po obu naczyniach *C* i *A*; mamy więc już teraz w *C* ciśnienie zmniejszone.



Rys. 81.

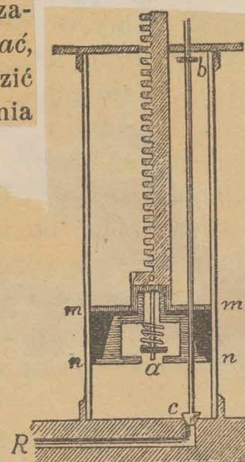
Jeżeli objętość balonu A jest przypuśćmy 3razy większa niż objętość naczynia C, w takim razie, według §90-go, ciśnienie wC zmniejszyłosię z jednej atmosfery do 0.25 atmosfery.

Zamykamy teraz kurek D, podnosimy w A rtęć do góry i otwieramy kurek E. Tym sposobem wypędzamy na zewnątrz powietrze, które napłynęło było z C do A. Podniósłszy rtęć jak można najwyżej, znów zamykamy E, otwieramy D i opuszczamy rtęć, jednem słowem powtarzamy, co czyniliśmy przed chwilą. Powietrze w C rozejdzie się znów po przyrządzie, ciśnienie w C zmniejszy się ~~, i do $\frac{1}{16}$ atmosfery.~~ Znowu Tak samo będziemy postępować dalej. Po kilku poruszeniach rtęci otrzymamy w C bardzo małe ciśnienie, t. j. usuniemy stamtąd powietrze prawie zupełnie.

Do doświadczeń z pompą rtęciową, jak równie do opisanych w kilku poprzednich artykułach, należy używać rtęci czystej. Rtęć, znajdująca się w handlu, bywa zazwyczaj dosyć czysta, trzeba ją tylko *przefiltrować*, a często i wysuszać. Z rtęcią należy obchodzić się ostrożnie, zwłaszcza zaś unikać ogrzewania jej w otwartych naczyniach.

§ 92. Pompy pneumatyczne innej budowy.

Można powiedzieć, że pompa rtęciowa, wyżej opisana, ma tłok, zrobiony z rtęci. Budują też często pompy pneumatyczne o tłokach drewnianych lub metalowych, obciąganych skórą. Zamiast kurków (jak D i E na rys. 81.) robią wówczas *zastawki* (*wentyle*) czyli klapy, które samo pompowane powietrze odmyka i zamyka. Na rys. 82. widzimy istotną część maszyny podobnej. Przez tłok przechodzi środkiem kanał, od dołu zamykany zastawką *a*, od góry łączący się z zewnętrznem powietrzem. Z boku tkwi w tłoku pręt *bc*, poruszający się razem z tłokiem do góry i na dół, o ile pozwalają na to: zatyczka *c* i haczyk *b*. Gdy tłok posuwa się do góry, pręt *bc* podnosi się, kanał *R* jest więc otwarty, natomiast *c* zamyka się zaraz pod naciskiem zewnętrznego powietrza, gdyż ruch tłoka rozrzedza pod nim powietrze; a zatem ostatecznie powietrze jest pompowane przez *R*, n. p. z pod dzwonu (rys. 83.). Przeciwnie gdy tłok *mmnn* zesuwa się na dół, pręt *bc* opuszcza się, zamyka *R*; powietrze, które napłynęło było do walca, ściskane, nabiera większego ciśnienia, nareszcie otwiera klapę *a* i wychodzi na zewnątrz.



Rys. 82.

W ~~Przy~~ doświadczeniach z pompą przydatny bywa *talerz* (rys. 83.), przez który prowadzi rura do pompy; na talerzu umieszcza się przedmioty, które mają znaleźć się w próżni, przykrywając je przyszlifowanym dzwonem szklanym. Dla szczelności brzeg tego dzwonu smarujemy łojem albo waseliną albo mieszaniną parafiny z waseliną. Podobnym smarem smarujemy również szlifowane części kurków szklanych.

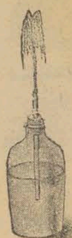
Klina jest

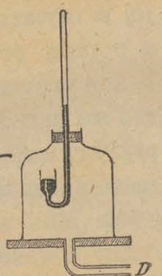
Rys. 83.



§ ~~75~~ 93. Doświadczenia, okazujące ciśnienie powietrza.

Przy pomocy pompy pneumatycznej sprawdzamy, co powiedzieliśmy o ciśnieniu powietrza. Wstawny ~~n. p.~~ pod dzwon z rys. ~~68~~ 82 butelkę, zaopatrzoną w korek, przez który przechodzi rurka wyciągnięta (rys. ~~70~~ 84); w butelce tej znajduje się woda. Gdy pompa zacznie działać, woda tryska z rurki. Albo też wprowadźmy barometr pod dzwon pompy, jak wskazuje rys. 85. Słup w barometrze będzie spadał coraz niżej, im dłużej pompa będzie działała. Zamknijmy wylot rury w talerzu (rys. 83) palcem lub dłonią; w miarę pompowania czujemy, że coś wtłacza nam skórę do rurki. Postawmy na talerzu szeroką rurę szklaną, której otwór górny obwiązaliśmy pęcherzem lub błoną kauczukową; wskutek działania pompy błona staje się wklęsłą ku dołowi i nareszcie pęka. Wszystkie te skutki sprawia ciśnienie powietrza. Nie wydają nam się one dziwne, skoro ciśnienie to równa się, jak doszliśmy, ciśnieniu przeszło kilograma na centymetr kwadratowy.

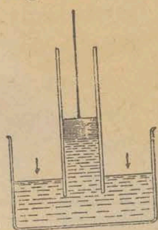

Rys. ~~70~~ 84

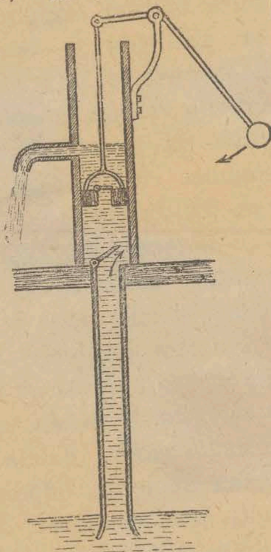


Rys. 85

§ 94 O pompach, studniach, sikawkach i t. p.

Weźmy rurkę, w której porusza się tłok (rys. ~~72~~ 86); zanurzamy ją dolnym otworem do wody i podnosimy tłok. Tym sposobem tworzy się pod tłokiem próżnia, którą natychmiast wypełnia woda, bo wciska ją tam ciśnienie powietrza zewnętrznego. To objaśnia, czemu możemy pić napoje, ciągnąc je rurką lub słomką. Na tej samej zasadzie polega działanie pomp wodnych w zwykłych studniach. Rysunek 87, który przedstawia przecięcie takiej studni, pozwala zrozumieć bez dalszych objaśnień ruch tłoka, grę klap, płynięcie wody, jakie powtarzają się w niej za każdem poruszeniem rękojeści. Budowa *sikawek* polega w zasadzie na urządzeniu podobnem.


Rys. 86


Rys. 87

Gdybyśmy zanurzyli rurkę z tłokiem (rys. ~~72~~ 86) do rtęci, wiemy że wciągnęlibyśmy ją na wysokość 76 *cm*, ale nie wyżej (§§ 90, 87 i 89). Woda jest 13·5 razy mniej cięższa od rtęci, więc można podnieść w ten sposób wodę o wysokość 13·5×76 *cm* czyli o wysokość przeszło 10 metrów ale nie wyżej. Zwyczajna pompa nie może podnieść wody o większą wysokość.

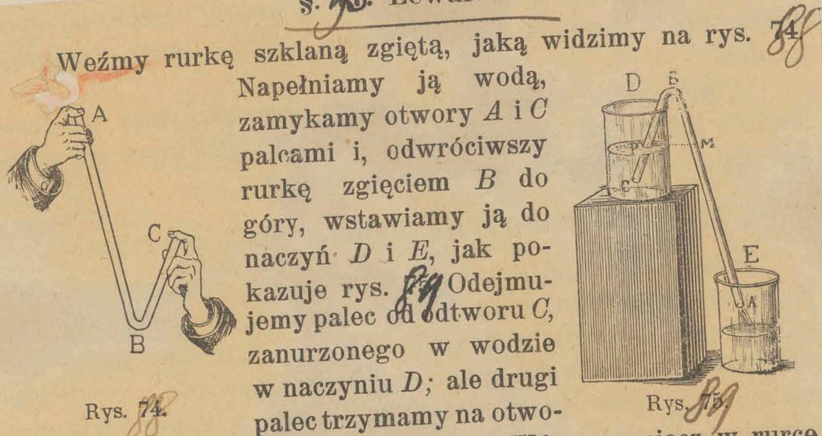
aut

191.





§. 75. Lewar.



Weźmy rurkę szklaną zgiętą, jaką widzimy na rys. 74. Napełniamy ją wodą, zamykamy otwory A i C palcami i, odwróciwszy rurkę zgięciem B do góry, wstawiamy ją do naczyń D i E, jak pokazuje rys. 75. Odejmujemy palec od otworu C, zanurzonego w wodzie w naczyniu D; ale drugi palec trzymamy na otworze A, znajdującym się w powietrzu. Wówczas ciecz w rurce CBA znajduje się w równowadze. Wyobraźmy sobie miejsce P

Rys. 74.

Rys. 75.

wewnątrz rurki CB, leżące w poziomie, na którym stoi ciecz w naczyniu D. Wyobraźmy sobie drugie miejsce M, leżące znów w tym samym poziomie, ale w kolanie BA. Powiadamy, że ciśnienie w cieczy w miejscach P i M jest jednakowe. Rzeczywiście: P i M leżą w tym samym poziomie, zatem ciśnienie w nich musi być jednakowe, tak samo, jak jest jednakowe na kwadracik a w § 57. (rys. 52.) i na kwadraciki sąsiednie. Wprawdzie kwadraciki, sąsiadujące ze sobą ~~w § 57., rys. 52.,~~ leżały tuż obok siebie w jednem naczyniu, tu zaś P i M łączą się tylko przez rurę PBM; ale to nie stanowi różnicy, skoro ciecze mają własność roznoszenia na wszystkie strony działającego w nich ciśnienia (§ 65.). Wiemy teraz, że w P działa ciśnienie atmosferyczne, skoro ciecz w naczyniu D dokoła znajduje się na otwartem powietrzu. A zatem powiadamy: w miejscu M działa także ciśnienie atmosferyczne. W miejscu A, gdzie ciecz, działa to samo ciśnienie, nadto jeszcze przewyżka ciśnienia, odpowiadająca różnicy poziomów M i A, czyli nadto jeszcze ciężar kolumny MA cieczy. Obie te siły razem wzięte: ciśnienie atmosferyczne i ciężar kolumny MA, równoważymy oporem palca.

Odejmijmy teraz palec od otworu A; wówczas na powierzchnię cieczy w A działa ciśnienie otaczającego powietrza czyli atmosferyczne. Rozumiemy łatwo, że kolumna MA nie może teraz pozostać w równowadze. Od góry działają na nią dwie siły: ciśnienie atmosferyczne i jej własny ciężar; od dołu działa tylko ciśnienie atmosferyczne. Woda musi popłynąć na dół.

Przyrząd tu opisany nazywa się *lewarem*; służy do przelewania jakiejbądź cieczy z naczyń wyżej położonych do położonych niżej bez poruszenia ich z miejsca.

§ 96. Jak można zważyć powietrze.

Wiemy z § 84-go, że powietrze ma ciężar. Przy pomocy pompy pneumatycznej, dokładnej wagi oraz bani szklanej z kurkiem /rys.75/ możemy zważyć pewną objętość powietrza. Za pomocą pompy wyciągamy powietrze z bani; następnie, zamknąwszy kurek, zawieszamy banię na wadze i równoważymy ją śrótem lub rtęcią. Nareszcie otwieramy kurek i dokładamy tyle ciężarków, ile potrzeba do przywrócenia równowagi. Dołożymy w tym celu 1·2 grama, jeśli bania aż do kurka ma 1 litr objętości. Zatem rzeczywiście: *litr* otaczającego nas atmosferycznego powietrza (pozostającego pod ciśnieniem jednej atmosfery) waży 1.2 grama.

Powietrze ma zatem ciężar stosunkowo dość znaczny. Duży pokój może mieć długości i szerokości ~~n. p.~~ po 5 *m*, a wysokości 4 *m*; w takim razie zawarte w nim powietrze waży 120 *kg*. Litr wody waży kilogram, zatem zwykłe powietrze jest około 833 razy mniej ciężkie niż woda, t. j. ma ~~gęstość~~ ciężar właściwy $\frac{1}{833}$.

§ 97. Powietrze usiłuje wyprzeć ciało w niem zanurzone.

Wiemy z § 78-go, że ciało zanurzone w wodzie traci pozornie na ciężarze; mianowicie traci tyle, ile waży woda wyparta przez ciało. Zapytujemy: czy ciało zanurzone w powietrzu doznaje w niem podobnej straty pozornej ? Czy do powietrza stosuje się zasada Archimedesa ? Ażeby odpowiedzieć na te pytania, weźmy do pomocy małą ważkę /rys.90/, na której równoważymy lekką /pustą w środku/ kulę ciężarkami lub śrutem. Zrównoważyliśmy kulę w powietrzu. Jeżeli zatem ciało zanurzone w powietrzu doznaje parcia do góry, równego ciężarowi wypchniętego powietrza, kula /która ma objętość większą niż ciężarki/ doznaje większego parcia niż one. A zatem kula w rzeczy samej musi być cięższa niż ciężarki; równoważy się z niemi w powietrzu jedynie dzięki pomocy parcia, którego doznaje od powietrza. Rzeczywiście: wstawmy ważkę pod dzwon pompy pneumatycznej i wyciągnijmy powietrze; zobaczymy, że strona ważki, po której wisi kula, przechyla się ku dołowi.

Klisza jest

Ryc. 90.

104.

Przypuśćmy, że kula w przyrządzie rys. 90 ma 1000 cm³ czyli 1 litr objętości; że jest zrobiona z bardzo cienkiej blachy tak, że waży kilkanaście gramów. W takim razie ciężarki, (które zazwyczaj bywają mosiężne), zajmują tylko kilka cm³ i możemy wypuścić z uwagi parcie, którego doznają w powietrzu. Zrównoważywszy kulę w powietrzu, widzimy, jak powiedziano ~~w artykule poprzednim~~, że w próżni kula przeważa. Teraz, zrównoważywszy kulę w powietrzu, dodajmy jeszcze 1·2 grama po stronie ciężarków; wówczas w powietrzu ciężarki będą przeważały, ale *w próżni* będzie właśnie *równowaga*. To dowodzi, że ciężar kuli w powietrzu zmniejsza się wskutek parcia o 1·2 grama. Zatem litr powietrza musi ważyć 1·2 grama, jakto już powiedzieliśmy w artykule poprzednim (§ 96)

1-go

§ 98. O balonach.

Zamknijmy koreczkiem próżną szklaną flaszeczkę i włóżmy ją następnie do wody; flaszeczka nie tonie, lecz wypływa ku górze. Szkło / z którego wyrobione są ścianki flaszeczki/ jest cięższe od wody; dlatego flaszeczka tonie, gdy jest pełna wody. Dopóki jednak jest pusta /czyli zawiera tylko powietrze/, doznaje od wody parcia do góry /§ 78/, które jest tak znaczne, że przeważa ciężar szkła i powietrza.

Zupełnie podobna jest zasada kauczukowych baloników dziecinnych oraz wielkich balonów, w których ludzie wznoszą się i odbywają podróże w powietrzu. Baloniki i balony bywają wypełnione gazem oświetlającym, który w jednakowej objętości jest lżejszy od powietrza. Według § 97-go, baloniki i balony doznają od powietrza parcia do góry, które równa się ciężarowi wypchniętego przez nie powietrza. Ponieważ gaz wypełniający balon waży mniej niż ta sama objętość powietrza, więc jest rzeczą zrozumiałą, że owo parcie do góry może przenosić ciężar gazu oraz powłoki balonu.

Możemy to sprawdzić następującem doświadczeniem: balonik kauczukowy, wypełniony gazem, gdy umieścimy go pod dzwonem pompy pneumatycznej, wzlatuje oczywiści do góry, dopóki w dzwonie znajduje się zwykłe powietrze; ~~xxxx~~

104.

lecz opada natychmiast na talerz, skoro pompa, począwszy działać, rozrzedza powietrze.

§ 99. Im wyżej w atmosferze, tem ciśnienie powietrza jest mniejsze.

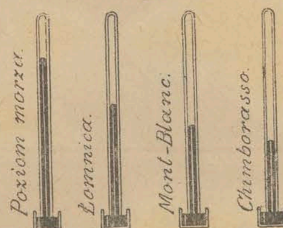
Wiemy /§ 69/, że w słupie wody panuje ciśnienie, które wynika z ciężaru wody; dlatego też, im głębiej w cieczy, tem owo ciśnienie jest większe. Innemi słowy, idąc w słupie do góry, trafiamy na coraz mniejsze ciśnienie.

W oceanie powietrza, który otacza naszą planetę, musi być zupełnie podobnie. Wiemy z § 85-go, że ciśnienie w każdej warstwie atmosfery wynika z ciężaru warst wyżej leżących. A zatem w miarę od*dalania się od powierzchni ziemi ciśnienie powietrza musi być coraz mniejsze;* my zaś, na dnie atmosfery, mamy *największe* ciśnienie powietrza.

Że tak jest, okazuje się w każdej podróży balonem. Przy wzlocie balonu, na powierzchni ziemi, barometr pokazywał (przypuśćmy) 76 *cm;* w takim razie będzie pokazywał:

na wysokości 1000 m nad ziemią.... około 67 cm
na wysokości 2000 m nad ziemią... około 59 cm
na wysokości 5000 m nad ziemią... około 42 cm.

Na wycieczkach w góry możemy ~~też~~ sprawdzić przy pomocy barometru, że ciśnienie powietrza jest coraz mniejsze w miarę, jak wznosiliśmy się wyżej i wyżej. Ażeby to unaocznić, pokazano na rys. 98. wysokość, jaką miałby barometr u poziomu morza, na szczycie tatrzańskim Łomnicy, na górze Mont-Blanc i na górze Chimborasso.



Rys. 98.

Stąd łatwo zrozumieć, że na wycieczce górskiej możemy sądzić o naszem wzniesieniu z wysokości, którą wskazuje barometr.

Łantyskr

Inne sposób zatrzebiacz na talerz, nakryć pompą, posługą, dalszém, rozrzedza powietrze.

§ 39. Im wyżej w atmosferze, tem ciśnienie powietrza jest mniejsze.

Wiemy /§ 59/, że w głębi wody panuje ciśnienie, które wynika z ciężaru wody; wiemy też, im głębiej w cieczy, tem owo ciśnienie jest większe. Inaczej mówiąc, idąc z głębi do góry, trafiamy na coraz mniejsze ciśnienie.

W oceanie powietrza, który otacza naszą planetę, musi być podobnie. Wynika z § 59-go, że ciśnienie w każdym punkcie atmosfery [illegible] musi wyżej mniejsze.

§ 100. Im wyżej w atmosferze, tem powietrze jest rzadsze.

Jeżeli ciśnienie powietrza w atmosferze jest coraz mniejsze, im dalej od powierzchni ziemi, zatem, na zasadzie § 90-go, musimy wyprowadzić stąd wniosek następujący: im dalej od powierzchni *ziemi, tem gęstość powietrza jest mniejsza, tem powietrze jest rzadsze.* Istotnie: w górach i w balonie znajdujemy coraz rzadsze powietrze, im wyżej się wznosimy. Dlaczego nie dostrzegamy w wodzie podobnego przyrostu gęstości ku dołowi, np. w dużym zbiorniku? Bo woda jest zazwyczaj mało ściśliwa (§ 57). Ciężar wysokiego nawet słupa wody jest jeszcze zbyt słaby, ażeby mógł ścisnąć wodę w sposób dostrzegalny. Przeciwnie, powietrze jest znacznie bardziej ściśliwe, niż woda (§ 82).

A zatem słup wody jest podobny ~~jak gdyby~~ do stosu cegieł, leżących na sobie, ~~a~~ słup powietrza jest raczej podobny do stosu materaców sprężynowych, leżących na sobie: im który niżej leży, tem mocniej jest ściśnięty.

Zadania.

1 Dlaczego, wydymając pneumatyk rowerowy za pomocą pompki, odczuwamy na początku wysiłek mniejszy, aniżeli na końcu ?

2 Ile będzie wynosiło ciśnienie powietrza, które początkowo znajdowało się pod ciśnieniem atmosferycznem, a następnie zostało wtłoczone do naczynia o objętości równej 1/3 objętości pierwotnej?

3 Co się dzieje z balonem, jeżeli podróżny wyrzuci worek z "balastem" ?

4 Odważyliśmy kilogram żelaza i kilogram puchu w powietrzu; czy ciężary obu tych ciał są istotnie równe?

5 Jaki jest prawdziwy ciężar naczynia ważącego w powietrzu 1 kg, którego objętość wynosi 3 litry ?

6 Pod jakiem ciśnieniem wypływa woda z lewara, w którym równice poziomów ujścia dolnej rury i poziomu wody w naczyniu górnym wynosi 1 metr ?

105.



WYDAWNICTWO KSIĄŻEK SZKOLNYCH
ZAKŁADU NAR. IM. OSSOLIŃSKICH
WE LWOWIE

Adres tel.: **Ossolineum — Lwów.**
Konto P. K. O. Nr. 112.942.
Tel. 524.

L. ....

Rozdział III

ROZDZIAŁ TRZECI.

Ofalach. O głosie.

§ 101. Ruch może przebiegać przez ciała.

Kiedy powóz posuwa się po drodze, lub kiedy kamień, spadając, biegnie ku ziemi, widzimy, że wszystkie części powozu albo kamienia uczestniczą w ruchu. Takiemi zjawiskami ruchu zajmowaliśmy się w pierwszym rozdziale tej książki.

Wydarzają się niekiedy inne zjawiska ruchu, zupełnie odmiennego rodzaju. Ażeby poznać ich przykład, posługujemy się bardzo długą sprężyną, jaką wyobraża rys.92.

Kliszа jest

Rys. 92.

Możemy sporządzić taką sprężynę, nawijając starannie drut dokoła rury o stosownej średnicy.

Do doświadczeń, które opiszemy, potrzeba sprężyny o długości około 2 metrów. Dobrze jest wziąć drut miedziany o średnicy 2 mm, rurze a więc każdemu skrętowi dać około 7 cm średnicy i okręcić rurę około 70 razy na długości 2 metrów.

Zawieszamy sprężynę, jak pokazuje rys.92. Uderzamy teraz koniec A młotkiem i przyglądamy się bacznie zachowaniu się sprężyny. W końcu, który uderzyliśmy, kilka pierwszych skrętów ściska się raptownie; inne, dalsze skręty nie zmieniają, w pierwszej chwili, swojej postaci. Po chwili widzimy, że ściśnięcie objęło skręty dalsze, sąsiednie,

po nowej chwili - jeszcze dalsze skręty sprężyny. Tym sposobem udzielając się dalej, ściśnięcie przebiega sprężynę, aż do drugiego jej końca. Powiadamy w tym razie, że fala ściśnięcia przebiegła przez sprężynę.

Widzieliśmy, że rozchodzenie się fali w sprężynie wymaga czasu; innemi słowy mówimy, że fala w sprężynie biegnie z pewną prędkością /por.§ 16/.

Powtórzmy jeszcze raz doświadczenie, przyglądając się któremukolwiek jednemu skrętowi sprężyny. Uważany skręt pozostaje w spoczynku, dopóki fala do niego nie doszła; gdy doszła, ściska się raptownie, poczem powraca do dawniejszej postaci, przekazując ściśnięcie następującym skrętom sprężyny. Skoro powrócił do dawniejszej postaci, skręt nie rozszerza się, nie wydłuża się dalej; widocznie oddał energję ściśnięcia, zużył ją na ściśnięcie skrętów następnych, do których fala później dochodzi.

Doświadczenia poniekąd podobne możemy wykonywać na sznurze, albo na kauczukowej rurce, o znacznej /kilkumetrowej/ długości. Umocowywamy sznur w położeniu poziomem albo pionowem i wyprężamy go lekko, np. działaniem stosownego obciążenia /rys.93/. Uderzamy sznur poprzecznie, naprzykład linią drewnianą, bardzo nagle i mocno. W miejscu, które uderzyliśmy, dostrzegamy w pierwszej chwili lekkie wygięcie, które udziela się niebawem miejscom sąsiednim i biegnie tym sposobem przez sznur aż do drugiego jego końca. Powiadamy w tym razie, że fala wygięcia biegnie w sznurze lub w rurce.

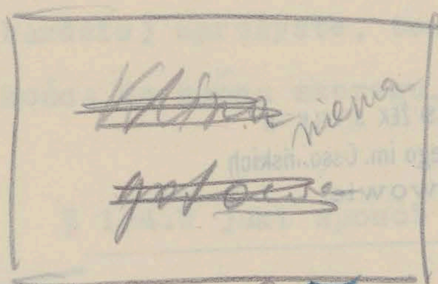
Uderzywszy młotkiem koniec A sprężyny, dostrzegamy, że jedno ściśnięcie /bez rozciągnięcia/ przebiega sprężynę. Gdybyśmy byli pociągnęli koniec A nagle ku sobie, bylibyśmy rozciągnęli w pierwszej chwili kilka

Klisza jest
Rys. 94

pierwszych skrętów i rozciągnięcie /bez ściśnięcia byłoby przebiegło sprężynę. ~~xxxxx~~ Pociągnijmy prędko scyzorykiem po skrętach sprężyny; ściśniemy kilka skrętow ale jednocześnie rozciągniemy kilka następnych, tak iż /rys.94/ ściśnięcie B i rozciągnięcie C, jedno za drugiem, przebiegając sprężynę

§ 102. Fala w powietrzu.

Rys.95 wyobraża rurkę z obu końców otwartą, zatem wypełnioną zwykłem powietrzem. Jak nam wiadomo z rozdziału drugiego, powietrze jest ciałem sprężystem; w ściśniętem powietrzu budzi się pewna sprężystość, podobnie jak w skretach sprężyny ściśniętych /§§ 81, 82, 90/



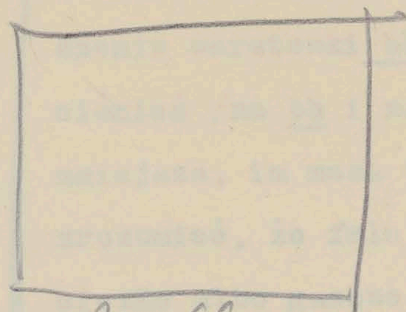
Rys. 95.

Przypuśćmy zatem, że ściskamy /czyli zgęszczamy/ raptownie warstwę powietrza, znjdującą się u lewego wylotu rurki; możemy to uczynić, wsuwając nagle tłoczek do rurki albo też, jeszcze skuteczniej, uderzając o siebie dwie niewielkie deseczki w pobliżu owego wylotu. Ściśnięcie, które wytworzyliśmy, udzieli się sąsiednim warstwom powietrza, udzieli im się również ruch, rozpęd, który pierwszej warstwie nadaliśmy. Tym sposobem fala zgęszczenia przebiega przez powietrze. Ażeby uwidocznić tę falę i jej nadejście do prawego końca rury, umieszczamy w pobliżu świecę ~~xxpka~~ zapaloną. Wybiegająca z rury fala łatwo zdmuchnie płomień owej świecy.

§ 103. Fala w szeregu kul sprężystych.

Wyobraźmy sobie szereg kul równych, sprężystych /wytoczonych na=przykład z kości słoniowej albo też wydętych ze szkła/

110

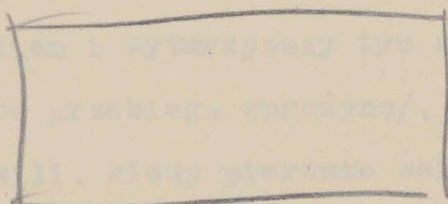


Rys. 96.

Umieszczamy te kule koło siebie, w szeregu, na gładkiej i poziomej podstawie; albo też zawieszamy kule, jak wahadła, co wyobraża rys. 96. Odchylamy pierwszą kulę i puszczamy ją swobodnie. Opadając, kula uderza drugą, ściska ją na chwilę czyli spłaszcza; nadto oddaje jej swoją prędkość. Druga kula czyni to samo względem trzeciej; i tak dalej. Po chwili odskakuje kula ostatnia. Fala ściśnięcia przebiegła tutaj przez szereg kul sprężystych; im one są bardziej sprężyste, tem prędzej udziela się fala i biegnie od końca do końca szeregu.

§ 104. W jaki sposób fala postępuje naprzód.

Wyobraźmy sobie, w doświadczeniu poprzedzającego § 102-go, warstewkę bbcc powietrza. W chwili, w której fala nawiedza bbcc, ta warstwa porusza się a zarazem się ściska. W owej chwili musi zatem działać pewna siła na warstwę. Tą siłą jest oczywiście różnica ciśnień, wywieranych przez sąsiednie warstewki: przez aabb z jednej strony, przez ccdd z drugiej; albowiem bbcc nie ma wogóle zetknięcia z dalszemi warstewkami powietrza.



Rys. 97

Wiemy jednakże z rozdziału pierwszego /§§ 25,27/, że przyspieszenia, które okazuje jakiebądź ciało pod działaniem pewnej siły, jest tem większe, im ta siła jest większa; oraz tem mniejsze, im masa ciała jest większa. Zastosujemy

to prawo do obecnego przypadku. Powiemy, że przyspieszenie warstewki bbcc jest tem większe, im różnica ciśnień /na bb i na cc/ jest większa; ale zarazem tem mniejsze, im masa warstwy bbcc jest większa. Stąd łatwo zrozumieć, że fala tem prędzej przebiega przez ciało ciekłe albo gazowe, im większe w tem ciele panuje ciśnienie; natomiast tem powolniej, im gęstość cieczy lub gazu jest większa.

Podobnie dzieje się, gdy fala przebiega przez stal, przez mosiądz, przez drzewo, szkło albo kauczuk. Prędkość rozchodzenia się fali w ciele stałem sprężystem /zob.§ 101/ jest zawsze tem większa, im większe jest sprężyste oddziaływanie ciała na odbywające się w niem zmiany postaci lub objętości; a zarazem tem mniejsza, im gęstość ciała jest większa.

§ 105. Fale prawidłowe: długość fali.

Opisaliśmy przejście jednego ściśnięcia przez sprężynę, przez kolumnę powietrza albo przez rząd kul sprężystych /§§ 101, 102, 103/. Powróćmy jeszcze raz do drugiej sprężyny, wyobrażonej na rys.92-im. Uderzywszy jej koniec A młotkiem i wytworzywszy tym sposobem pierwsze ściśnięcie /które przebiega sprężynę/, uderzamy ten koniec po raz drugi, w chwili, kiedy pierwsze ściśnięcie objęło np. skręt 9-ty, 10-ty i 11-ty. Dwa ściśnięcia biegną teraz przez sprężynę; drugie dąży za pierwsze w odstępie stałym, wynoszącym około 10 skrętów. Uderzamy koniec A po raz trzeci, w chwili, kiedy pierwsze ściśnięcie objęło skręt 19-ty, 20-ty i 21-szy; po raz czwarty, gdy objęło 29-ty, 30-ty, 31-szy; i tak dalej.- Widzimy wówczas, że ściśnięcia postępują za sobą w odstępach stałych, które nazywamy długością fali; widzimy również, że

między kolejnemi dwoma naszemi uderzeniami przypadały odstępy czasu stałe, które nazywamy okresem tej fali. Ogół zjawiska nazywamy wówczas rozchodzeniem się prawidłowej albo okresowej fali ściśnięć w sprężynie.

Pociągając ku sobie skrajne skręty sprężyny w stałych odstępach czasu, możemy w niej wytworzyć, zupełnie podobnie, prawidłową albo okresową falę rozciągnięć, o pewnej długości fali i o pewnym okresie.

Możemy nakoniec jeszcze w następujący sposób pobudzać sprężynę. Ściskamy ją u końca A; po upływie sekundy wyciągamy tego samego końca; po upływie drugiej sekundy ściskamy ją znowu, po upływie trzeciej znowu ją wyciągamy. Tak samo postępujemy dalej. Szereg ściśnięć i rozciągnięć, jednych za drugiemi, biegnie wówczas przez sprężynę. Powiadamy, że rozchodzi się w niej prawidłowa albo okresowa fala ściśnięć i rozciągnięć. Okres tej fali wynosi sekundę, jej długość równa się drodze, którą fala przebywa w przeciągu sekundy.

§ 106. Fale podłużne oraz poprzeczne.

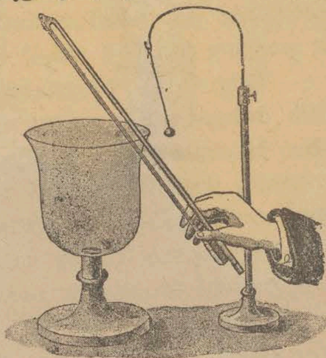
Uderzając nagle koniec A długiej sprężyny /rys.92/ wytwarzaliśmy w niej falę ściśnięć. W pierwszej chwili zjawiska każdy skręt sprężyny poruszał się w kierunku uderzenia, więc w tym samym kierunku, w którym fala biegnie w sprężynie.- Jeżeli pociągnęliśmy ku sobie skrajne skręty sprężyny, wytworzyliśmy falę rozciągnięć; w pierwszej chwili zjawiska każdy skręt porusza się wówczas w kierunku pociągnięcia, zatem wprost przeciwnie do kierunku, w którym fala przebiega sprężynę. Takie fale nazywamy podłużnemi. Ruch cząstek ciała jest w nich zgodny z kierunkiem posuwania się fali albo też jest przeciwny.

Przypomnijmy sobie falę wygięć na sznurze /§101/. Ta fala jest widocznie poprzeczna. Uderzenie nasze w tym razie było skierowane prostopadle do długości sznura;

tak samo skierowane są przesunięcia cząstek, wywołujące wygięcie. Ruch cząstek ciała w fali poprzecznej jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali.-

§107. Powstawanie głosu.

Uderzmy brzeg dzwonu lub pociągnijmy po nim smyczkiem; słyszymy *głos*. Skąd głos powstaje? Możemy łatwo dowieść, że dzwon *drga*, dopóki głos się rozlega. Czujemy drganie dzwonu, dotykając go ostrożnie palcem lub ustami; jeśli dotkniemy za mocno, stłumimy drganie i zaraz też umilknie głos, który słyszymy. Zbliżajmy lekko wahadełko (rys. 98) do dzwonu, wydającego głos; będzie ono odskakiwało, potrącane raz wraz przez drgający dzwon. Struna dźwięcząca podrzuca lekkie skrawki papieru czyli „koniki", które pozawieszaliśmy na niej; wygląda też jakby grubsza, dopóki wydaje głos. Widzimy więc, że *każde ciało drga, gdy wydaje głos*.



Rys. 98

Γ(§ 39.)

§108. Głos rozchodzi się w powietrzu.

Jeśli drgający dzwon znajduje przed sobą palec, uderza palec; jeśli spotyka wahadełko, uderza wahadełko; a że zazwyczaj znajduje przed sobą powietrze, więc uderza powietrze, t. j. ściska czyli zgęszcza pierwszą, przylegającą warstwę powietrza. To ściśnięcie czyli zgęszczenie udziela się dalej, jak w sprężynie (rys. 92), jak w rurce (rys. 88.) i tym sposobem w powietrzu rozchodzi się pierwsze *zgęszczenie*. Ale tymczasem dzwon, odbywając drugą część drgania, poczyna się cofać i pociągać za sobą czyli rozrzedzać pierwszą przylegającą warstwę powietrza; tym sposobem w powietrzu rozchodzi się pierwsze *rozrzedzenie*, które biegnie tuż za pierwszem zgęszczeniem, podobnie, jak biegło za niem w sprężynie, w której rozchodzi się fala. Dzwon jednak, ukończywszy pierwsze wahnięcie, rozpoczyna drugie, przez co znów poczyna zgęszczać warstwę przylegającego powietrza, t. j. wysyła „drugie zgęszczenie". Zupełnie podobnie wyśle następnie „drugie rozrzedzenie", następnie „trzecie zgęszczenie", „trzecie rozrzedzenie", i t. d. Od dzwonu pobiegnie więc w każdym kierunku fala podłużna w powietrzu, złożona ze zgęszczeń i rozrzedzeń, kolejno za sobą idących; a że taka fala pobiegnie w *każdym*

aa bb cc d d

Γ(zob. § 39.)

kierunku, utworzy się więc fala *kulista*, w której postępujące zgęszczenia i rozrzedzenia mają kształt powierzchni kulistych; podobnie po powierzchni wody wstrząśnienia rozbiegają się w postaci kręgów czyli kół.

Gdy fala, biegnąca w powietrzu, dojdzie naszych uszu (lub dokładniej naszego nerwu słuchowego), wówczas słyszymy *głos*. Istotnie też nie słyszymy wcale głosu dzwonka, zawieszonego wewnątrz bani szklanej, jeśli z tej bani wyciągniemy powietrze. Zatem powiadamy: gdy słyszymy głos, wtedy poza obrębem naszej osoby odbywa się tylko *ruch* pewnego rodzaju mianowicie *falowanie powietrza*. Głos, który słyszymy, jest naszem *wrażeniem*, wywołanem przez to falowanie, podobnie jak ból, którego doznajemy, gdy ktoś uderzył nas laską, jest naszem wrażeniem, wywołanem przez ruch laski i jej uderzenie

§109. Energia falującego powietrza.

Powietrze, w którem rozchodzi się głos, odbywa pewien ruch, a więc musi mieć dzięki temu pewną *energję*. Istotnie: gdy strzelają z armat lub gdy rozlega się huczna muzyka, szyby w oknach drżą czyli „dzwonią". Skutkiem bardzo potężnych wybuchów powstaje huk tak straszny, że pod naciskiem falującego powietrza szyby pękają, ściany się załamują, a ucho ludzkie, jeśli znajduje się na drodze, łatwo może uledz uszkodzeniu. Falowanie powietrza może więc wykonać pracę; powietrze, w którem rozchodzi się głos, ma tem samem pewną energię. Powiadamy, że głos jest *słaby* albo *cichy*, jeśli falowanie roznoszącego go powietrza posiada energię nieznaczną; jeśli przeciwnie energia falowania jest znaczna, mówimy, że głos jest *mocny, głośny, donośny*. Od energii falowania zależy więc własność głosu, zwana *natężeniem*.

§110. Prędkość rozchodzenia się głosu.

W zwykłem powietrzu fale rozchodzą się z prędkością 340 *m* na sekundę. ~~To znaczy, że~~ jeżeli powietrze pocznie falować w jakiemkolwiek miejscu, wówczas faluje ono o 340 *m* dalej od tego miejsca po upływie jednej sekundy. A zatem i głos w zwykłem powietrzu rozchodzi się z prędkością 340 *m* na sekundę. Niechaj jedna osoba *A* stanie w miejscu widocznem, n. p. na małem wzniesieniu; druga osoba *B* niechaj oddali się od niej o 340 metrów. Przypuśćmy, że *A* uderza młotem w dzwon lub też rąbie drzewo, podnosząc za każdym razem młot czy siekierę wysoko do góry; *B zobaczy* wówczas ruch ręki o całą sekundę wcześniej, zanim *usłyszy* głos, powstający

z uderzenia. Albo też przypuśćmy, że osoba A w porze nocnej strzela z pistoletu; błysk wystrzału dobiega osoby B wcześniej niż huk. W obu razach opóźnianie się wrażenia słuchowego w porównaniu do wzrokowego pochodzi przedewszystkiem stąd, iż światło biegnie nadzwyczajnie szybko /jak o tem powiemy w szóstym rozdziale/, głos zaś biegnie znacznie powolniej, z prędkością tylko 340 m na 1 sekundę. Za pomocą doświadczeń takich jak te, o których w tej chwili mówiliśmy, uczeni wymierzyli dokładnie prędkość rozchodzenia się głosu w zwykłem powietrzu.

Gdy piorun uderza, spostrzegamy błyskawicę prawie natychmiast po uderzeniu, grzmot zaś zazwyczaj słyszymy dopiero o parę sekund później; albowiem, jeśli uderzenie nastąpiło n. p. w odległości 1 *km* od nas, głos zużywa blizko 3 sekundy na przebieżenie w powietrzu tej odległości.

§ 111. Jeszcze o sposobie rozchodzenia się głosu w powietrzu.

Z poprzedzającego artykułu wnosimy ponownie, że rozchodzenie się głosu polega na rozchodzeniu się pewnego wstrząśnienia w powietrzu, a nie na rozchodzeniu się samego powietrza. Gdy strzelimy z armaty, *głos* czyli wstrząśnienie powietrza znajduje się już po upływie sekundy w odległości 340 *m* od miejsca wystrzału; tymczasem dym, wyrzucony z armaty, znajduje się po upływie sekundy w odległości zaledwie kilku metrów od wylotu działa. Wyobraźmy sobie gęsty tłum ludzi; posłaniec zdoła z trudnością tylko i powoli poruszać się naprzód w tym tłumie; tymczasem list, podawany z rąk do rąk, albo wiadomość, podawana z ust do ust, biegnie w nim z wielką prędkością. Podobnie pewna ilość powietrza lub dymu przeciska się [redacted] stosunkowo powoli przez otaczające powietrze; ale wstrząśnienie powietrza, podawane z warstw do warstw, rozbiega się w niem z ogromną prędkością.

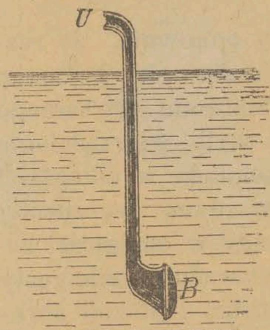
§ 112. Rozchodzenie się głosu w ciałach stałych.

Fala podłużna może biedz przez każde ciało sprężyste, a zatem i głos może rozchodzić się w każdem ciele sprężystem. Położmy n. p. zegarek na końcu długiego stołu; nie słyszymy

chodu zegarka przez powietrze, tymczasem, przyłożywszy ucho do drugiego końca stołu, słyszymy go wyraźnie. Połączmy dwa lekkie pudełka drewniane zapomocą sznurka. Niechaj ktoś z jednem pudełkiem odejdzie na odległość kilku lub kilkunastu metrów, aż się sznurek wypręży, i niechaj mówi do pudełka, nie podnosząc głosu; nie usłyszymy mowy przez powietrze, ale usłyszymy ją, przyłożywszy ucho do drugiego pudełka. Stukanie o słup telegraficzny słychać wyraźnie w słupie sąsiednim; górnicy mogą porozumiewać się ze sobą pukaniem przez ogromne pokłady węgla lub innych minerałów.

§ 102. Rozchodzenie się głosu w cieczach.

Głos może również rozchodzić się w cieczach. Zanurzywszy duży dzwon metalowy do rzeki lub stawu, uderzajmy go pod wodą zapomocą stosownego młotka. Można wówczas słyszeć głos dzwonu nawet na stosunkowo znacznej odległości, posługując się rurą lejkowatą, jaką wyobraża rys. 99. Energia fal głosowych, rozchodzących się w wodzie, udziela się powietrzu, zawartemu w rurze *UB*, przez pośrednictwo błony sprężystej *B*, którą otwór *B* jest mocno obwiązany; do drugiego otworu *U* przykładamy ucho. Wyobraźmy sobie, że wykonano to doświadczenie w sposób następujący: młotek, uderzający o dzwon, jest tak urządzony, że w chwili każdego uderzenia wysyła jakikolwiek *sygnał* świetlny, n. p. zapala nieco prochu i sprawia tym sposobem lekki i nagły błysk za każdem uderzeniem. *Słuchając* (zapomocą rury *UB*) bicia dzwonu przez wodę, możemy wówczas jednocześnie *widzieć* sygnały dawane przez młotek w chwilach kolejnych uderzeń. Przypuśćmy, że odległość pomiędzy dzwonem a rurą *UB* w linii prostej wynosi 340 *m*. Przekonalibyśmy się wówczas, że głos dzwonu dochodzi nas już po upływie mniej niż ćwierci sekundy. A zatem głos biegnie w wodzie przeszło 4 razy prędzej, niż w powietrzu. W ciałach stałych głos rozchodzi się z jeszcze większą prędkością.



Rys. 99.

F powiedział ostre, że również sprężyste (§ 61)

118.

112

§ 102. O odbijaniu się fal.

Umocujmy jeden koniec długiej sprężyny (rys. 85.) zupełnie nieruchomo, przytwierdźmy go n. p. do ściany i spróbujmy z drugiego końca wzbudzić w sprężynie falę. Fala powstaje, przebiega sprężynę, lecz gdy dojdzie do ściany, zawraca i biegnie po sprężynie napowrót. Jak piłka, rzucona o ścianę, odskakuje i biegnie napowrót, tak fala w sprężynie cofa się od ściany; powiadamy, że fala *odbija się* od ściany. Podobnie mogą odbijać się fale w powietrzu; ściany budynków, skały w dolinie, brzegi gęstego lasu odbijają fale w powietrzu i dlatego *odsyłają* głos. Powierzchnia wody odbija również głos; na jeziorze lub stawie słychać mowę lub śpiew dalej, niż na lądzie. Ciała miękkie i porowate, jak tkaniny, kobierce i t. p., *tłumią* głos, ponieważ odbierają energię falowania powietrzu, które obficie w sobie zawierają; same zaś nie są dość sprężyste, żeby wysyłać nowe fale.

§ 103. Odgłos.

Głos przebiega w powietrzu 340 *m* w ciągu sekundy. Przypuśćmy, że stoimy pod ścianą, odbijającą głos doskonale, w odległości (dajmy na to) 3 *m* od niej. Jeśli wymówimy n. p. „*a*“, głos, który wydaliśmy, pobiegnie ku ścianie, odbije się i powróci do nas w ciągu $\frac{1}{57}$-ej części sekundy, albowiem tyle czasu potrzeba fali do przebycia 6 *m* w powietrzu. Ale samo wymówienie „a“ trwa od $\frac{1}{5}$ do $\frac{1}{10}$ części sekundy mniej więcej. A zatem odbijanie się głosu od ściany blizkiej może wzmacniać lub nieco przedłużać brzmienie, lecz nie wytwarza *echa* lub *odgłosu* czyli głosu wyraźnego, odosobionego, powstającego przez odbicie. Echo powstaje, kiedy głos odbity powraca do miejsca wydania nie tylko po rzeczywistem skończeniu się pierwszego głosu, ale i po jego przebrzmieniu w uchu.

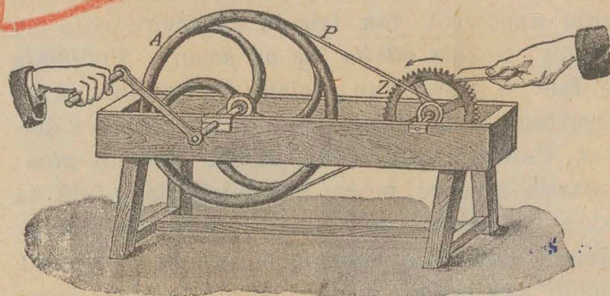
← antykwą

głoski

§ 104. Głos urywany, głos ciągły.

Jeśli uderzymy laską o podłogę, powstaje głos krótki, urwany, który nazywamy stuknięciem. Przypuśćmy, że stukamy laską raz po raz, n. p. trzy razy w ciągu każdej sekundy; słyszymy wówczas wyraźnie każde uderzenie z osobna. Spróbujmy teraz stukać coraz częściej; wówczas jest trudniej po-

chwycić każde uderzenie z osobna. Poręcze na moście lub na schodach składają się często z gęstego szeregu prętów żelaznych; biegnijmy wzdłuż takiej poręczy i prowadźmy po niej koniec laski. Uderzenia następują tak szybko po sobie, że nie odróżniamy już każdego z osobna, lecz słyszymy, *głos ciągły*. Doświadczenie to wykonamy lepiej przy pomocy koła zębatego Z (rys. 91.); można obracać je bardzo prędko, poruszając koło A, które przenosi ruch na koło Z przy pomocy pasa P. Przyłóżmy metalową blaszkę lub kartę tektury do zębów koła Z; każdy ząb, przechodząc, będzie ją uderzał. Obracając powoli, słyszymy każde uderzenie z osobna; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, w którym rozpoznać przerw nie jesteśmy w stanie. Przypuśćmy, że na kole Z znajduje się 60 zębów. Jeśli obracamy tak powoli, że koło to wykonywa jeden obrót w przeciągu dwóch sekund, wówczas karta otrzymuje 30 uderzeń w ciągu jednej sekundy. Przekonamy się, że to jest mniej więcej granica, gdzie pojedyncze uderzenia łączą się w głos ciągły; obracając powolniej, słyszymy urwane głosy kolejnych uderzeń; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, bez przerw, czyli jednolity.



Rys. 91.

§ 105. Dźwięk; głosy bezładne.

Jeśli zęby na kole Z (rys. 91.) są równe i jeśli obracamy koło jednostajnie, wówczas kolejne uderzenia nie łączą się w bezładny hałas i brzękanie, lecz tworzą *dźwięk* czyli głos równy, stały; taki głos wydają też instrumenta muzyczne, taki wydajemy, śpiewając lub wymawiając samogłoski. A zatem dźwięki powstają z wstrząśnień równych i regularnych, t. j. powtarzających się w równych odstępach czasu. Przeciwnie, wszelkie inne głosy (brzęk, trzask, stukanie, pukanie) powstają z uderzeń krótkich, niejednakowych i nieregularnych.

Rozdział V

ROZDZIAŁ PIĄTY

O elektryczności.

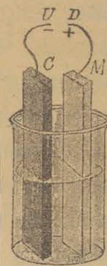
WYDAWNICTWO KSIĄŻEK SZKOLNYCH
Zakładu Narodowego im. Ossolińskich
we Lwowie.

ROZDZIAŁ PIĄTY

O elektryczności.

§ 165. Ogniwo elektryczne.

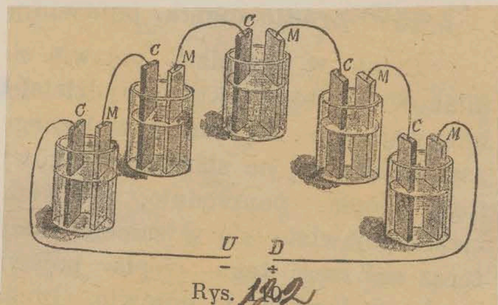
Weźmy dwie blaszki: cynkową *C* i miedzianą *M*, do których przylutowano po kawałku drutu; wstawmy je do wody, zakwaszonej, jak okazuje rys. 121. Nazywamy taki przyrząd *ogniwem elektrycznem;* koniec *D* drutu, idącego od miedzi, nazywamy *biegunem dodatnim* (+) *ogniwa;* koniec *U* drutu, idącego do cynku, nazywamy *biegunem ujemnym* (—).



Rys. 121.

Zobaczymy niebawem, że ogniwo elektryczne może być źródłem całkiem nowych objawów i działań, których nie poznaliśmy w żadnym z poprzednich rozdziałów. Zjawiska te nazywają się elektrycznemi.

Ażeby zapoznać się z niemi, musimy nauczyć się sposobu, który pozwoliłby wzmódz czyli wzmocnić działalność ogniwa.

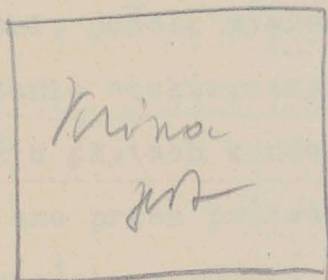


Rys. 122.

Zbudujmy kilka lub kilkanaście ogniw i połączmy je ze sobą tak (rys. 110.), ażeby biegun dodatni pierwszego ogniwa łączył się z ujemnym drugiego, dodatni drugiego z ujemnym trzeciego, dodatni trzeciego z ujemnym czwartego i t. d.; taki zbiór ogniw nazywamy elektryczną baterją. Na krańcach baterji pozostają swobodne dwa bieguny *D*, *U*; zachowują się one, jak bieguny jednego ogniwa, tylko mocniejszego, niż pojedyncze ogniwo. Powiadamy, że baterja elektryczna jest jakby jednem ogniwem o wielkiej mocy czyli o wysokiem „napięciu". Im więcej ogniw połączymy w opisany sposób ze sobą, tem wyższe będzie napięcie baterji.

§ 166. Kondensator. Elektroskop.

Potrzeba nam teraz przyrządu, który może przechowywać i nagromadzać elektryczne działania ogniwa albo baterji. Zadanie to spełnie kondensator, wyobrażony na rys.123-im.

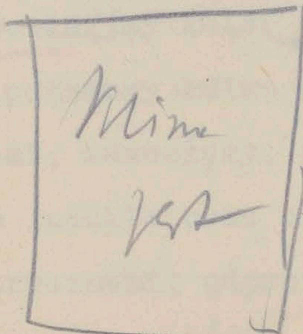


Ryp. 123.

Kondensator składa się z dwóch płyt metalowych /rys.123/, zaopatrzonych w szklane rękojeści; płyty te leżą na sobie, oddzielone cienką warstwą lakieru, wosku albo poprostu papieru.

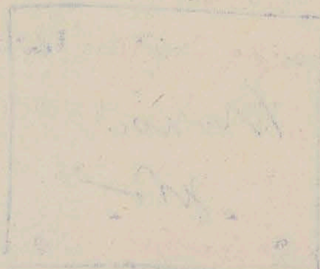
Łączymy matelaicznie, np. za pomocą drutów metalowych, jedną płytę kondensatora /powiedzmy gorną/ z dodatnim biehunem bateryi, drugą zaś /dolną/ z biegunem ujemnym. Odłączamy następnie druty od płyt, nie dotykając bezpośrednio ręką ani pierwszych ani drugich; możemy dopomódz sobie w tej czynności pręcikami szklanemi lub pałeczkami kauczukowemi. Trzymając rękojeści, rozsuwamy płyty kondensatora i badamy ich stan, ich własności.

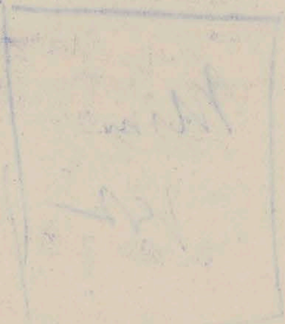
Uskuteczniamy to badanie za pomocą elektroskopu, któwy widzimy przedstawiony na rys.124-ym. W szyjce bańki ~~sxk~~ szklanej PA znajduje się korek, przez który przechodzi ~~prętxsx~~ pręt ~~xx~~ metalowy CD; na tym pręcie wiszą dwa cieniutkie listki pozłótki AC, BC.



Ryp. 124

Przed zetknięciem z płytą kondensatora listki AC, BC wiszą obok siebie pionowo, zupełnie spokojnie. Skoro tylko dotkniemy kulki D gorną płytą kondensatora, listki rozchylają się/ jak na rysunku/ i pozostają przez dłuższy czas odchylone od siebie, nawet i wówczas, gdy płytka została oddalona. Jeślibyśmy





dotknęli kulki D dolną płytą kondensatora, spostrzeglibyśmy zupełnie podobne zachowanie się listków. Ono świadczy o tem, że listki odpychają się, że wywierają na soebie nawzajem siły odpychające, których nie wywierały przed dotknięciem płyty. Takie siły nazywamy elektrycznemi; powiadamy, że listki, jeżeli wywierają siły elektryczne, znajdują się w stanie elektrycznym czyli są naelektryzowane. Mówimy również o płytach kondensatora, że są naelektryzowane, ponieważ one przez pośrednictwo pręta CD udzieliły listkom nowych własności, wprawiły je w stan, którego listki przedtem nie okazywały. A ponieważ płyty kondensatora zostały naelektryzowane przez mateliczne zetknięcie z biegunami baterji, przeto powiadamy ostatecznie, że i same bieguny baterji albo ogniwa znajdują się w stanie elektrycznym czyli są naelektryzowane.

§ 167. Przewodniki i izolatory.

Widzieliśmy, że naelektryzowanie biegunow baterji udziela się płytom kondensatora za pośrednictwem metalowych drucików; naelektryzowanie płyt udzielało się listkom, podobnie, za pośrednictwem metalowego pręta CD elektroskopu. Z tego powodu mowimy, że metale przewodzą stan elektryczny, lub że są eletrycznemi przedwodnikami.

Dotknijmy kulki D naelektryzowanego elektroskopu dłonią albo połączmy kulkę metalicznie z prętem żelaznym, tkwiącym w ziemi; zauważymy, że rozchylenie listków ginie natychmiast. Ciało ludzkie oraz ziemia wilgotna są zatem przewodnikami elektrycznemi; odprowadzały one stan elektryczny do kuli ziemskiej, w której on gubi się i znika.

Dotknięcie kulki D prętem szklanym, pałeczką laku, kau-

czuku albo ebonitu nie sprawia takich skutków; rozchylenie listków trwa po dotknięciu. Dlatego mówimy, że szkło, lak, kauczuk, ebonit /i podobnie kalafonia, bursztyn, jedwab, porcelana, papier/ są złemi przewodnikami elektrycznemi czyli izolatorami.

Powietrze jest oczywiście izolatorem; gdyby nim nie było, nie bylibyśmy mogli widocznie dokonać poprzednich doświadczeń w opisany sposób.

§ 168. Przyciąganie się i odpychanie się elektryczne.

Ażeby wyrażać się krócej, mowimy, że płyta kondensatora, ktorą połączyliśmy z dodatnim biegunem baterji, elektryzuje się dodatnio; o drugiej płycie, połączonej z biegunem ujemnym, mówimy, że elektryzuje się ujemnie. Są to tylko umówione nazwy, ktorym nie przypisujemy w tej chwili głębszego znaczenia.

Z odchylania się listków elektroskopu naelektryzowanego bądź dodatnio, bądź ujemnie /§ 166/ wnosimy, że: ciała, naelektryzowane jednakowo, odpychają się. Zobaczymy, jak zachowują się ciała naelektryzowane niejednakowo czyli przeciwnie.

Rysunek 125. wyobraża metalową kulkę C, zawieszoną na izolującej /np.szklanej/ podstawce AB. Dotknąwszy kulki C dolną płytą naelektryzowanego kondensatora, elektryzujemy ją ujemnie /§ 166/; płytka górna, naelektryzowana dodatnio, przyciąga wówczas kulkę C ku sobie. Tak samo zachowuje się kulka, naelektryzowana dodatnio, względem wszelkiego ciała naelektryzowanego ujemnie. Wnosimy zatem, że: ciała, naelektryzowane przeciwnie, przyciągają się.

Prosty przyrząd, wyobrażony na rysunku 125-ym /czyli t.zw.wahadło elektryczne/ daje więc możność

Wolna jest

Rys. 125.

sprawdzania, jakiego znaku /albo rodzaju/jest naelektryzowanie jakiegobądź ciała.

§ 169. Elektryczność; dwa jej rodzaje.

Wykonywamy teraz doświadczenie następujące. Elektryzujemy przedewszystkiem płyty kondensatora, tak samo jak to dawniej czyniliśmy /§ 166-ty/, mianowicie łącząc je metalicznie z biegunami baterji. Odłączamy następnie płyty od biegunow i wprowadzamy je ze sobą w bezpośrednie lub pośrednie metaliczne zetknięcie. Po takiem zetknięciu płyty tracą natychmiast zdolność elektryzowania listków elektroskopu, odpychania albo przyciągania naelektryzowanego wahadełka itp.; innemi słowy, po zetknięciu ze sobą płyty są nie naelektryzowane, są rozbrojone, jak mówimy niekiedy czyli obojętne.

Ażeby dobrze zrozumieć wynik tego doświadczenia, przypuśćmy, że w ciele naelektryzowanem istnieje cóś, co nam nie jest znane, cóś, co sprawia stan elektryczny i wytwarza w ciele nowe i szczególne własności. To niewiadome cóś niechaj nazywa się elektrycznością; dodatnią elektrycznością w ciele dodatnio naelektryzowanem, ujemną - w ujemnie naelektryzowanem. Przyjęcie takich nazw i wyrazów nie posuwa nas oczywiście ani na krok naprzód w zrozumieniu zjawisk elektrycznych; ale może skrócić i uprościć sposób mowienia o nich. Wynik opisanego przed chwilą doświadczenia możemy teraz tak wypowiedzieć: dodatnia i ujemna elektryczność okazują dążność do zbliżenia się ku sobie; skoro

sprawdzania, jakiego znaku /albo rodzaju/ jest naelektryzowanie jakiegobądź ciała.

§ 169. Elektryczność, dwa jej rodzaje.

Wykonywamy teraz doświadczenie następujące. Elektryzujemy przedewszystkiem płyty kondensatora, tak samo jak to dawniej uczyniliśmy /§ 166-ty/, mianowicie łącząc je zetknięciem z biegunami baterii. Odłączamy następnie płyty od biegunów i zbliżamy je ze sobą w bezpośrednie lub pośrednie [illegible] Po takiem zetknięciu płyty tracą natychmiast zdolność elektryzowania listków elektroskopu, odpychania albo przyciągania naelektryzowanego wahadełka itp. Innemi słowy, po zetknięciu ze sobą płyty są nie naelektryzowane, są rozbrojone, jak mówimy niekiedy, czyli obojętne.

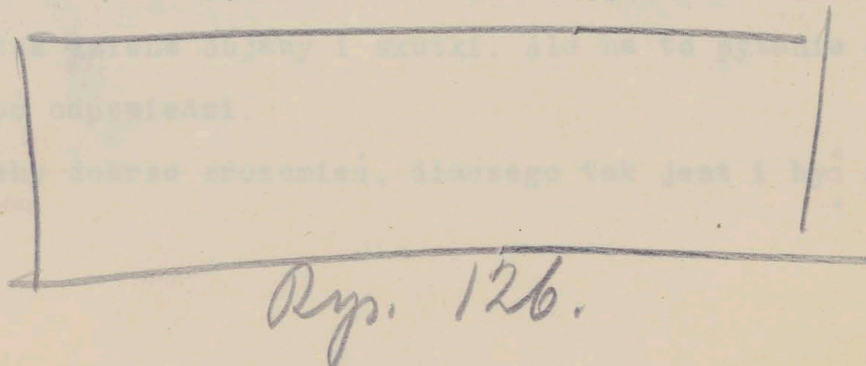
Ażeby dobrze zrozumieć wynik tego doświadczenia, przyjmiemy, że w ciele naelektryzowanem istnieje coś, co nam nie jest znane, coś, co sprawia stan elektryczny i wytwarza w ciele nowe i szczególne własności. To niewiadome coś nazwiemy elektrycznością; dodatnią elektryczność w ciele dodatnio naelektryzowanem, ujemną - w ujemnie naelektryzowanem. Przyjęcie takich nazw i wyrazów nie prowadzi nas odrazu ani na krok naprzód w zrozumieniu zjawisk elektrycznych; ale może skrócić i uprościć sposób mówienia o nich. Wynik opisanego przed chwilą doświadczenia możemy teraz tak wypowiedzieć: dodatnia i ujemna elektryczności okazują dążność do zbliżania się ku sobie; skoro

tylko mogą to uczynić, łączą się ze sobą a wówczas znoszą się czyli zobojętniają się wzajemnie.

Widzieliśmy z poprzednich doświadczeń, że ciała, naelektryzowane przeciwnie /czyli równoimiennie/, przyciągają się nawzajem; to znaczy, że okazują dążność do wzajemnego zbliżania się ku sobie. Obecnie widzimy, że nietylko ciała równoimiennie naelektryzowane, ale i same różnoimienne elektryczności przyciągają się również i dążą ku sobie, chociaż same ciała, w których istnieją te elektryczności /np. płyty w naszem doświadczeniu/ nie poruszają się przytem wcale.

A zatem elektryczność może poruszać się w ciele /może przez ciało, a może po ciele/, jeżeli to ciało jest metalem lub wogóle przewodnikiem. W izolatorze elektryczność może istnieć, ale jest unieruchomiona, jest skrępowana. Możemy naelektryzować jedno miejsce pałeczki szklanej lub kauczukowej; tuż obok tego miejsca może nie być żadnego elektrycznego ładunku. Ale nie możemy tego sprawić w pręcie mosiężnym albo żelaznym. Cały pręt metalowy przybiera odrazu jeden /czyli jednakowy wszędzie/ stan elektryczny.

Widzieliśmy, że ciała naelektryzowane równoimiennie przyciągają się i że same elektryczności różnoimienne przyciągają się również. Wiemy dalej z § 168-go, że ciała naelektryzowane jednoimiennie odpychają się. Nasuwa się zatem przypuszczenie, że elektryczności jednoimienne odpychają się również. O słuszności tego domniemania przekonywamy się w następującem doświadczeniu. Przypuśćmy, że płyta CD



Rys. 126.

kondensatora /rys.126/ jest dodatnio naelektryzowana. Zbliżamy do niej nienaelektryzowany walec metalowy AB, umieszczony na szklanej nóżce, zatem izolowany. Badamy teraz stan tego walca AB, przy pomocy wahadełka /w/, które uprzednio naładowaliśmy dodatnio. Przekonywamy się, że koniec A walca przyciąga kulkę wahadełka elektrycznego w, koniec B ją odpycha. Zatem rozlana na CD elektryczność dodatnia musiała widocznie przyciągnąć ku sobie elektryczność ujemną walca AB aż do końca A, dodatnią zaś odepchnęła możliwie najdalej t.j. aż do B.

Jeżeli oddalimy płytę CD, ładunek ujemny w końcu A i dodatni w B są zwolnione i mogą podążyć ku sobie a zatem złączyć się ze sobą i zobojętnić. Walec AB istotnie okazuje się natychmiast nienelektryzowanym czyli obojętnym.

Wyobraźmy sobie kulę mosiężną, w której znajdują się tylko dodatnie elektryczne ładunki. One odpychają się między sobą wzajemnie i starają się, jak tylko mogą, oddalić się od siebie. Widoczną jest rzeczą, że odpłyną na powierzchnię kuli i że się na tej powierzchni ułożą. Tam pozostaną, albowiem powietrze, będąc izolatorem, nie przepuści ich dalej. Przewodniki zatem, w stanie równowagi elektryczności, posiadają ładunki tylko na powierzchni.

§ 170. Czem jest elektryczność.

Kto po raz pierwszy poznaje elektryczne zjawisko, zadaje sobie mimowoli pytanie: czem jest elektryczność, która sprawia tak dziwne objawy i skutki. Ale na to pytanie nie możemy dać odpowiedzi.

Żeby dobrze zrozumieć, dlaczego tak jest i być musi,

przypomnijmy sobie z codziennego doświadczenia naszego, w jaki sposób poznawaliśmy i wciąż poznajemy różne ciała, pospolitsze i rzadsze. W jaki sposób każdy z nas po kolei dowiaduje się, czem jest lód albo sól kuchenna, czem ołów, rtęć, platyna ? Dowiadujemy się, co te wyrazy znaczą poprostu gdy zapoznaliśmy się z własnościami owych ciał. Kto poczuł, jak lód jest zimny, jak ołów jest ciężki; kto rozpuszczał sól w wodzie lub próbował jej smaku, kto przelewał rtęć z naczynia do naczynia lub posługiwał się platynowym tygielkiem, już nie zapytuje: czem są owe ciała. Poznał ich właściwości; ogół poznanych własności wytwarza w jego umyśle obraz ciała, który jest najlepszą /i wła/ściwie jedyną możliwą/ odpowiedzią na poprzednie pytanie.

Podobnie dzieje się w Fizyce, gdy badamy elektryczność. Im wszechstronniej poznajemy zjawiska elektryczne, im dokładniej wiemy, jakie są własności elektryczności, tem rzadziej i tem mniej natarczywie nasuwa nam się na myśl pytanie: czem jest elektryczność. Ogół wiadomości naszych o elektryczności daje nam bezpośrednią odpowiedź na owo dręczące pytanie.

Stąd widzimy, że poznanie elektryczności nie jest niczem innem niż jej zrozumienie.

§ 171. Eleketryczności nie umiemy tworzyć.

Widzieliśmy w artykułach poprzednich, iż wszystko tak się odbywa, jak gdyby w każdem ciele obojętnem /nienaelektryzowanem/ istniały obiedwie elektryczności: dodatnia i ujemna. Suma dodatniej i ujemnej elektryczności daje w ciele stan obojętny czyli elektrycznie żadny, podobnie jak w Algebrze suma liczb, przypuśćmy + 17 i - 17 daje

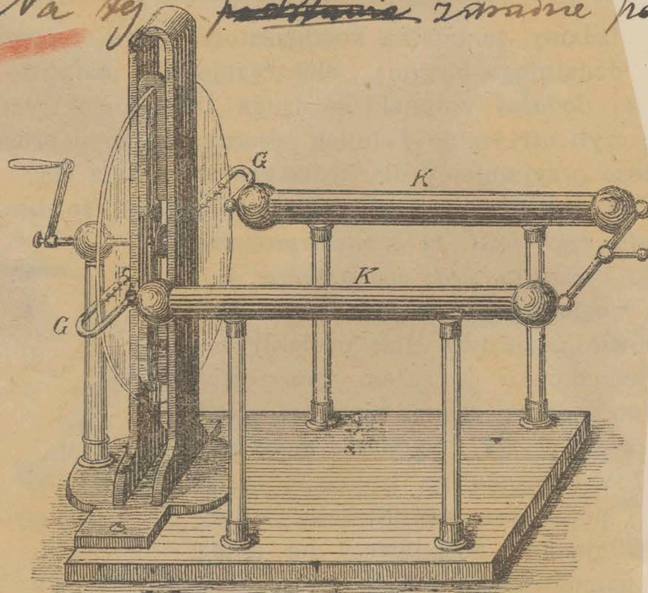
zero. Elektryzując ciało nie stwarzamy w niem zatem dodatniej ani ujemnej elektryczności; oddzielamy je od siebie, rozłączamy je tylko.

Nie umiemy dotychczas stworzyć elektryczności z niczego, tak samo jak nie potrafimy stworzyć z niczego miedzi, węgla albo wodoru, chociażby w najmniejszej ilości. Mówiąc to, nie chcemy jednak powiedzieć, ażeby elektryczność była takiem samem zwyczajnem ciałem, jakiem jest miedź, węgiel lub wodór. Istnieje elektryczność dwojakiego rodzaju i to ją stanowczo odróżnia od wszelkich ciał nam znanych. Nie istnieje węgiel dodatni i węgiel ujemny, nie istnieje wodów dodatni i wodór ujemny, które, dodane do siebie, dawałyby nicość. Tymczasem istnieje elektryczność dodatnia i elektryczność ujemna; te zaś, wzięte wspólnie, znoszą i niszczą się zobopólnie.-

§ 172 O różnych sposobach elektryzowania ciał.

Można elektryzować ciała mnóstwem sposobów. Dwa drążki metalowe, jeden ~~n. p.~~ cynkowy, drugi ~~n. p.~~ miedziany, przyłożone do siebie, po rozłączeniu okazują się naelektryzowane; przytem muszą być trzymane zapomocą rękojeści izolujących, n. p. szklanych; inaczej ładunki spłyną do ziemi przez ręce nasze i ciało. Suchy kawałek szkła, laku lub bursztynu, przyciśnięty do jedwabiu, flaneli lub futra, okazuje się naelektryzowany; jednocześnie jedwab, flanela, futro elektryzują się również. ~~Przytem~~ Po szkle, po laku i wszystkich innych wymienionych ciałach, jako po złych przewodnikach, ładunki nie rozchodzą się (jak po metalach rozchodziły się zaraz), lecz tkwią w miejscach, w których powstały. Krótkie, lecz silne potarcie suchego szkła lub laku flanelą lub kawałkiem futra wytwarza znaczniejsze naelektryzowanie, niż proste przyłożenie; pocierając jedno ciało o drugie, sprawiamy bowiem. iż wiele ich miejsc zostaje przyłożonych po kolei do siebie. /(§ 169)

Na tej ~~podstawie~~ zasadzie polega urządzenie



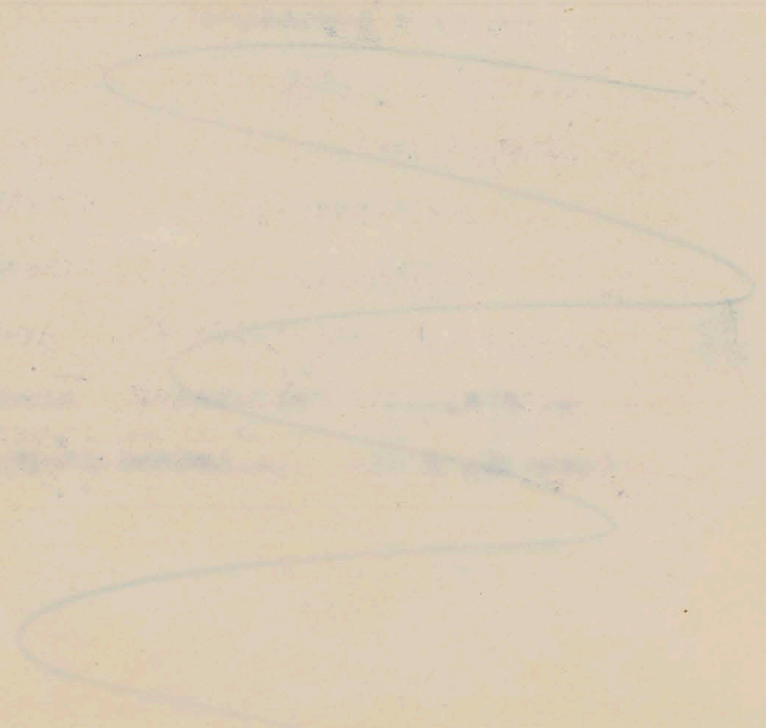
Rys. 127.

t. zw. maszyn elektryczych, w których

/rys. 127/ tafla szklana, pocierana przez połączone z ziemią skórzane poduszki, pomiędzy któremi się kręci, dostarcza »grzebieniom« GG i przez nie »konduktorom« KK coraz nowych ładunków elektrycznych. W jaki sposób odbywa się to dostarczanie ładunków można łatwo zrozumieć na mocy § 169-go.

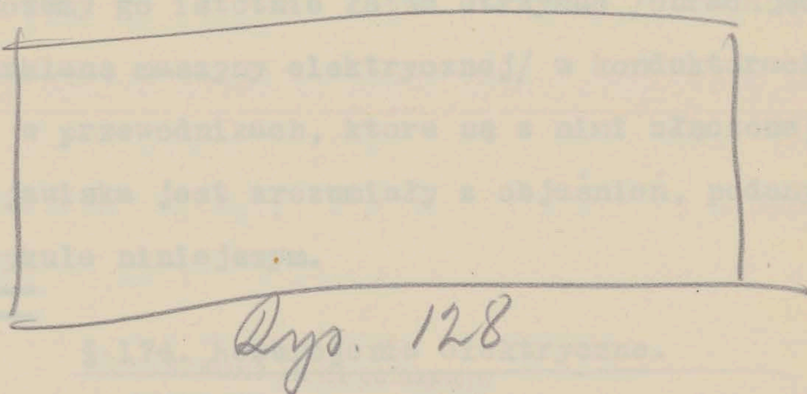
Włosy suche, czesane grzebieniem kauczukowym lub szyldkretowym, elektryzują się wyraźnie. Uderzenie dwu kawałków metalu o siebie elektryzuje je. Kawałek korka, przyciśnięty do kawałka bursztynu, okazuje się naelektryzowany; podobnież i bursztyn. Rozerwawszy na dwie części kartę grubego papieru /lub papieru podklejonego płótnem/, możemy przekonać się, że obie części są naelektryzowane. Kawałek siarki, stopiony w szklanej parowniczce, elektryzuje się podczas stygnięcia; i t. d.. Elektryzowanie się ciał jest więc wogóle częstem i pospolitem zjawiskiem.

Elektryzowanie się bursztynu za potarciem był o znane w starożytności; od wyrazu też greckiego elektron /który znaczy bursztyn/ pochodzi nazwa elektryczności. Jednakże dopiero od końca 18-go stulecia rozpoczął się szybki rozwój nauki o elektryczności, nauki, która dzisiaj stanowi jednę z najpiękniejszych i najbogatszych dziedzin Fizyki i jest źródłem mnóstwa ważnych zastosowań w życiu narodów ucywilizowanych.



§ 173. Prąd elektryczny.

Wiemy z artykułów poprzedzających, że w niektórych ciałach, np. w metalach, elektryczność może poruszać się czyli płynąć, jak niekiedy obrazowo mówimy /§§ 16ł, 172/. Ruch elektryczności w jakimbądź przewodniku nazywamy prądem elektrycznym.



Rys. 128

Wyobraźmy sobie ciało metaliczne A izolowane /rys. 128/; przypuśćmy, że naelektryzowaliśmy je dodatnio. Zbliżamy do A długi pręt lub drut metalowy BC, z początku nienaelektryzowany. Według § 169-go, elektryczność dodatnia ciała A rozłączy dwie elektryczności, które zawierały się w BC, przyciągnie ujemną do końca B, dodatnią zaś odepchnie do drugiego końca C. Przypuśćmy, że końcem B dotykamy ciała A, koniec C zaś połączyliśmy z ziemią. Ładunek ~~tak~~ dodatni ciała A i ujemny w B połączą się i zobojętnią, dodatni zaś ładunek końca C odpłynie do ziemi. Wszystko dzieje się tak, jak gdyby dodatni ładunek ciała A przepłynął przez BC do ziemi, w czasie zresztą niesłychanie krótkim. Całość tych zjawisk nazywamy prądem elektrycznym w przewodniku BC.

Musimy o tem pamiętać, że w opisanych warunkach prąd ten jest niejako jednorazowy: istnienie ładunku na A i połączenie z ziemią wytwarza ów prąd, który powstaje



i natychmiast znowu zamiera. Gdybyśmy nieustannie wytwarzali coraz nowe ładunki na przewodniku A, w miarę jak one się zobojętnieją i giną, opisane prze chwilą zjawisko powtarzałoby się bez końca. Mielibyśmy wówczas nieprzerwane płynięcie elektryczności przez przewodnik BC czyli trwały prąd elektryczny. Możemy go istotnie łatwo otrzymać /obracając taflę szklaną maszyny elektrycznej/ w konduktorach maszyny i w przewodnikach, które są z nimi złączone; przebieg zjawiska jest zrozumiały z objaśnień, podanych w artykule niniejszym.

§ 174. Rozbrojenie elektryczne.

Dopóki koniec B drutu BC w doświadczeniu § 173-go nie dotknie powierzchni przewodnika A, dopóty niema pomiędzy B i A metalicznego, przewodzącego połączenia. Siła wzajemnego przyciągania pomiędzy ładunkiem dodatnim na A i ujemnym na B może dojść jednakże do takiego natężenia, że opór izolujący powietrza zostanie niejako przełamany, że ładunki połączą się i zobojętnią wybuchowo, w postaci iskry. Iskra jest objawem nader krótkotrwałego prądu elektrycznego, który, skutkiem ogromnego napięcia, zdołał przerwać izolację powietrza. Taki prąd nazywamy zwykle elektrycznem rozbrojeniem. Możemy go łatwo wytwarzać i dostrzegać w elektrycznych doświadczeniach, jeżeli tylko napięcie elektryczności, jej dążenie do przejścia, jest dostateczne

Po drodze swojej rozbrojenie elektryczne rozgrzewa bardzo mocno powietrze; ale czyni to tylko w tem miejscu przez które przebiega. ~~Piorun nie.~~

Piorun nie jest niczem innem, jak potężnem elektrycznem rozbrojeniem pomiędzy chmurami lub pomiędzy chmurą a ziemią. *Błyskawica* jest olbrzymią iskrą, wytworzoną przez to rozbrojenie. Ażeby uchronić budynki od uderzenia piorunu, stawiają na nich *piorunochrony* czyli wysokie, zaostrzone, metalowe pręty, połączone metalicznie z ziemią; rozbrojenie trafia wówczas nie w budynek, lecz w piorunochron i spływa po nim do ziemi bez szkody dla budynku.

Gdy iskra elektryczna przeskakuje, co właściwie świeci? Świeci w niej powietrze, rozgrzane niezmiernie mocno i nagle działaniem elektryczności, a także cząstki ciał, pomiędzy któ-



128

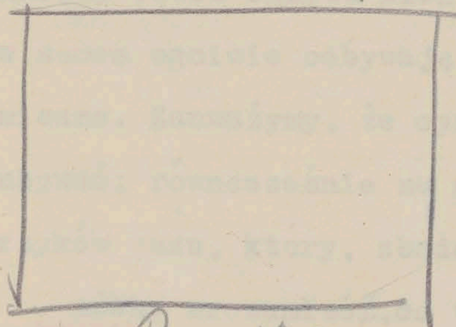
remi iskra przeskakuje, od tych ciał oderwane. Rozgrzanie powietrza, niezmiernie mocne i nagłe, sprawia w niem gwałtowne i krótkie rozszerzenie; stąd ów suchy trzask, jaki słyszymy, gdy iskra przeskakuje (por. rozdz. III.).

174

§ 175. Prąd elektryczny w ogniwie i w obwodzie ogniwa.

Jak wiadomo, bieguny ogniwa są przeciwnie naelektryzowane /§ 168/. Połączmy zatem te bieguny za pomocą drutu metalowego lub innego jakiegobądź przewodnika, zważając jednak, ażeby blaszki M miedzi i C cynku /rys.129/ nie dotykały się nigdzie. Otrzymamy wówczas prąd elektryczny w drucie lub przewodniku, czyli w t.zw.obwodzie ogniwa. Na biegunach ogniwo wytwarza coraz nowe elektryczne ładunki; otrzymujemy w obwodzie, przez pewien czas, prąd trwały.

W obwodzie ogniwa elektryczność dodatnia płynie od dodatniego do ujemnego bieguna, zatem od miedzi do cynku. Ale ponieważ prąd w obwodzie jest trwały, więc z cieczy ogniwa musi do miedzi nieustannie dopływać nowa elektryczność dodatnia, która zatem w cieczy ogniwa płynie od cynku do miedzi



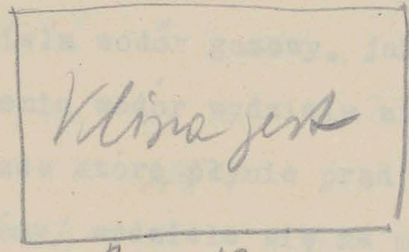
Ryp. 129

Ale ponieważ prąd w obwodzie jest trwały, więc z cieczy ogniwa musi do miedzi nieustannie dopływać nowa elektryczność dodatnia, ktora zatem w cieczy ogniwa płynie od cynku do miedzi /rys.129/. Tym sposobem prąd elektryczny płynie niejako dokoła: przez ogniwo i przez cały obwód.

§ 176. Ciepło w obwodzie ogniwa.

Skoro tylko obwód ogniwa jest zamknięty i płynie w nim prąd elektryczny, dostrzegamy nowe zjawisko: cienki drut, zwłaszcza żelazny lub platynowy, włączony w obwód, ogrzewa się wyraźnie.

Powtórzmy to spostrzeżenie w sposób następujący. Wprowadźmy cieńki drucik żelazny lub platynowy w obwód baterji



Rys. 130.

/rys.130/; pozostała reszta obwodu niechaj składa się z grubych miedzianych drutów lub prętów. W prętach lub grubych drutach nie zuważymy ogrzania; cienki drucik, przeciwnie, rozżarza się do czerwoności lub do białości i może nawet się stopić. Pręd elektryczny przenosi energję w sposób niedostrzegalny przez grube części obwodu do cienkiego drucika, dowolnie daleko od baterji i tam dopiero zmienia ją w ciepło.

§ 177. Działania chemiczne w ogniwie.

Jak powiedzieliśmy w dwóch artykułach poprzednich, zamknijmy obwód ogniwa elektrycznego. Zauważyma niebawem, że w samem ogniwie odbywają się wówczas pewne działania chemiczne. Zauważymy, że cynk zużywa się, że go zaczyna powoli ubywać; równocześnie na miedzi dostrzegamy nieco pęcherzyków gazu, który, zbadany, okazałby się wodorem.

Ażeby zrozumieć, co tutaj się dzieje, włóżmy kawałek cynku /rys.131/ do wody zaprawionej kwasem siarczanym. Między wodą zakwaszoną a cynkiem zaczyna się zaraz chemiczne działanie. Woda syczy, kotłuje się i niebawem ogrzewa.



Rys. 131

~~nie~~ Maleńkie pęcherzyki gazowe wydobywają się na powierzchnię wody; blachy cynkowej zaczyna ubywać; woda zakwaszona ją niszczy, przegryza, podobnie jak czysta woda czyni to z cukrem. Mawia się też nieraz, że cynk „rozpuszcza się" w wodzie zakwaszonej; lecz, co tutaj się dzieje jest tylko z pozoru podobne do rozpuszczania się cukru, albowiem metalicznego cynku nie można napowrót otrzymać przez odparowanie wody), jak to można z cukrem uczynić. Cynk nierozpuszcza się właściwie w wo—

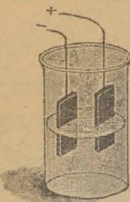




dzie zakwaszonej, lecz rozkłada kwas w niej zawarty, tworzy pewien związek /sól, zwaną siarczanem cynkowym/ i wydziela wodór gazowy, jak wiadomo z Chemji. W tem doświadczeniu wodór wydziela się zatem na cynku; w ogniwie, przez które płynie prąd elektryczny, wodów /jak powiedzieliśmy/ wydziela się na miedzi. Zrozumiemy nieco później, czemu prąd elektryczny przenosi wodów przez ciecz, z cynku na miedź, w sposób niewidzialny.

§ 178. Działanie chemiczne w obwodzie.

Połączmy bieguny ~~D i C~~ bateryi (rys. 132) z dwiema blaszkami wyrobionemi z *platyny*, metalu, na który zwykle kwasy nie działają. Weźmy nieco *siarczanu cynkowego*, tej samej soli, jaka tworzy się w ogniwie (§ 153.), i zanurzmy platynowe bieguny bateryi, jak okazuje rys. 132., do roztworu tej soli w wodzie. Cynk czysty osadza się wówczas na blaszce, która jest połączona z ostatnim cynkiem bateryi, czyli na ujemnym biegunie bateryi. Jednocześnie woda staje się kwaśna; ~~albowiem~~ tworzy się ~~tutaj~~ kwas siarczany, którego w roztworze coraz więcej przybywa. Mamy więc teraz *rozkład* siarczanu cynkowego, czyli zjawisko wprost przeciwne temu, które mieliśmy w ogniwie (rys. ~~III~~; § 154.). Tu przybywa cynku i przybywa kwasu, w ogniwie zaś i cynku i kwasu ubywało. ~~A zatem~~, gdy wykonywamy opisane doświadczenie, w ogniwach bateryi siarczan cynkowy tworzy się, jednocześnie zaś w obwodzie bateryi, w roztworze, siarczan cynkowy rozkłada się; więc w obwodzie odbywa się przeciwne chemiczne działanie, niż w ogniwie.



Rys. 132

(W opisanem tu doświadczeniu kwas siarczany, tworzący się skutkiem rozkładu soli, pocznie niebawem również ulegać rozkładowi; dlatego na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym, oprócz cynku pocznie niebawem wydzielać się wodór. (Ażeby dogodnie okazać wydzielanie się metalicznego cynku, można dodać do roztworu siarczanu ciała, zwanego szczawianem amonowym).

§ 179. Elektroliza.

Prąd elektryczny, przechodząc przez rtęć, nie rozkłada jej; rtęć jest, jak wiadomo, *pierwiastkiem chemicznym* czyli nie rozkładającem się ciałem. Poprowadźmy teraz prąd przez ja-

kieś ciało złożone, może całkiem odmienne od tych, które wchodzą w skład ogniwa. Nalejmy np. do szklanki (rys. 132)

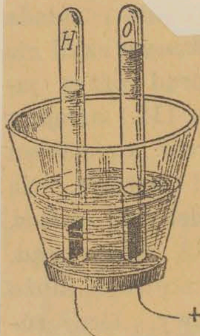
wodnego roztworu siarczanu miedziowego (t. zw. koperwasu miedziowego) i połączmy blaszki z biegunami bateryi. Na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym, osadza się *miedź*, w roztworze zaś przybywa kwasu siarczanego. A zatem prąd, który powstaje przy tworzeniu się siarczanu cynkowego, może rozkładać nie tylko znowu siarczan cynkowy, lecz również i inne ciała złożone. ~~Zupełnie~~ podobnie prąd elektryczny, przechodząc przez roztwór wodny kwasu siarczanego lub solnego, przez roztwór wodny soli kuchennej (chlorku sodowego) lub lapisu (azotanu srebrowego) lub jodku potasowego, wywołuje w tych ciałach zjawiska rozkładu chemicznego. Natomiast przez naftę, przez oliwę lub przez terpentynę prąd nie przechodzi i oczywiście nie rozkłada tych ciał.

w ogniwie
w niem

Rozkład, sprawiany przez prąd elektryczny, nazywa się *elektroliza*; ciała, które prąd rozkłada, nazywają się *elektrolitami*. Gdy elektrolizujemy kwas siarczany lub solny, wodór wydziela się na biegunie ujemnym; pozostałe zaś części składowe kwasu (chlor, związki tlenu z siarką) wydzielają się na biegunie dodatnim. Gdy elektrolizujemy jakąkolwiek sól, na biegunie ujemnym wydziela się *metal*, zawarty w soli; na biegunie dodatnim wydzielają się pozostałe części składowe soli. Gdy n. p. elektrolizujemy lapis, na biegunie ujemnym osadza się srebro; rozumiemy przeto, jak można srebrzyć, (a także złocić, niklować i t. d.) zapomocą prądu elektrycznego. Gdy elektrolizujemy jodek potasowy, *potas* gromadzi się na ujemnym biegunie (gdzie natychmiast działa chemicznie na wodę), na dodatnim zaś wydziela się swobodny *jod*. Jeśli dodamy do roztworu nieco zaprawy krochmalnej, najmniejsze ilości pojawiającego się jodu zdradzać się będą niebieskiem zabarwieniem tak, iż zapomocą elektrolizy jodku potasowego można wykrywać obecność nawet bardzo słabych prądów.

§ 180 Elektroliza wody.

Woda czysta jest złym elektrycznym przewodnikiem; nalawszy czystej wody do szklanki (ryc. 132 i próbując przepuszczać prąd, niedo—

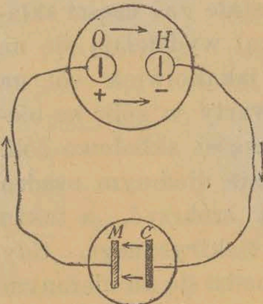


Rys. 133

strzegamy elektrolizy wody. Lecz dodajmy kilka kropel kwasu (siarczanego lub solnego), a natychmiast dwa strumienie pęcherzyków gazowych pobiegną ku powierzchni, jakby wyrywając się z blaszek platynowych. Ażeby zebrać te pęcherzyki, nakryjmy blaszki zamkniętemi rurkami szklanemi, wypełnionemi również wodą zakwaszoną i przewróconemi nad cieczą, jak pokazuje rys. 133; przyrząd tu przedstawiony, nazywa się *woltametrem*. Na biegunie dodatnim wydziela się *tlen* (*O*, z łac. *Oxygenium*), na ujemnym — *wodór* (*H.* z łac. *Hydrogenium*); wodoru jest na objętość dwa razy więcej, niż tlenu. (Do tego doświadczenia potrzeba mocnego prądu; najlepiej użyć kilku ogniw, opisanych wyżej, w § 185-ym).

§ 181. Uwaga dodatkowa o ogniwie elektrycznem.

Rozumiemy teraz, dlaczego w ogniwie wydziela się wodór, skoro tylko obwód jest zamknięty (§ 178.). Albowiem prąd przechodzi wówczas przez wodę zakwaszoną samego ogniwa i wodę tę elektrolizuje. Dlaczego zaś wodór wydziela się na miedzi? Wyobraźmy sobie (rys. 134) ogniwo *MC* (dla uproszczenia narysowano tylko jedno) oraz woltametr *OH*, w którym elektrolizuje się woda; wszystko to jak gdyby przecięte poziomą płaszczyzną. Wiemy, że prąd przechodzi jak gdyby dokoła przez ogniwo i przez cały obwód. Idźmy n. p. od miedzi *M* do bieguna *O* w woltametrze *OH* i taksamo dalej, jak wskazują strzałki; widzimy, że wodór w woltametrze zbiera się tam, gdzie *wychodzimy* z cieczy t. j. w miejscu *H.* W ogniwie idziemy od C do *M*, wodór przeto w ogniwie zbiera się znowu tam, gdzie wychodzimy z cieczy t. j. na miedzi *M.*



Rys. 134



178.



§ 163. Aby rozłożyć wodę, trzeba wykonać pracę.

Wiadomo z Chemii, że wodór łączy się chętnie z tlenem, że n. p. pali się w tlenie; przez to powstaje woda. Zatem rozkład wody i palenie się wodoru w tlenie są to zjawiska, wręcz przeciwne sobie. W pierwszem woda rozkłada się na wodór i tlen, w drugiem wodór i tlen łączą się, dając wodę. W obu razach ani zyskujemy, ani tracimy na *masie*. Z dziewięciu gramów wody otrzymujemy zawsze jeden gram wodoru i ośm gramów tlenu, ani mniej, ani więcej; z grama wodoru i z ośmiu gramów tlenu otrzymujemy dziewięć gramów wody. Masa wody jest w obu razach równa łącznej masie obu składników.

Zwróćmy teraz uwagę na *energje* wody i na *energje* składników. Wiemy, że wodór, łącząc się z tlenem, wydziela znaczną ilość ciepła; płomień wodoru w tlenie jest źródłem znacznego gorąca. Każdy gram wodoru, łącząc się z ośmiu gramami tlenu, wydziela 34·6 kal. Wyobraźmy sobie zatem 1 gram wodoru, zmieszany z 8 gramami tlenu, ale nie połączony z nimi; następnie przypuśćmy, że utworzyło się z nich 9 *g* wody. Przez połączenie się wydziela się 34·6 kal., które musimy odebrać, jeżeli chcemy mieć wodę w tej samej temperaturze, w jakiej mieliśmy wodór i tlen. A zatem dziewięć gramów wody zawiera w tej samej temperaturze *mniej* energji, niż mieszanina 1 grama wodoru i 8 gramów tlenu, mianowicie mniej o 34·6 kal.; inaczej mówiąc, wodór i tlen zawierają *więcej* energji, niż woda, mianowicie więcej o 34·6 kal. na każdych 9 *g* wody. *Żeby więc rozłożyć wodę, trzeba dostarczyć pracy, trzeba wyłożyć energię,* mianowicie trzeba wydać conajmniej 34·6 kal. na rozkład każdych 9 *g* wody.

§ 164. Energja prądu elektrycznego.

Tę właśnie pracę wykonywa w woltametrze prąd elektryczny. Prąd przynosi ze sobą energję, wpływając do wolta-

metru. Lecz skąd bierze się energja prądu ? Energja prądu, jak wiemy, jest tylko nową postacią energji owych ciał, które działają na siebie wzajemnie w ogniwie. Kwas siarczany i cynk mają energję chemiczną, podobnie jak wodór i tlen mają energję chemiczną. Część tej energji chemicznej kwasu siarczanego i cynku zamienia się w ogniwie na elektryczną energję prądu i elektryczna energja prądu w woltametrze zamienia się napowrót na chemiczną. Woltametr «nabity» /tj.taki, przez który przepuściliśmy prąd elektryczny/ zawiera świeży zapas energji chemicznej.

§ 184. O polaryzacji.

Woltametr nabity zawiera zapas energji chemicznej, podobnie jak gotowe do działania ogniwo; dlatego z takiego nabitego

woltametru można otrzymać prąd elektryczny. Odłączmy końce (+) i (—) drutów woltametru (rys. 131) od biegunów baterji i połączmy je z sobą. Przekonamy się, że *w obwodzie woltametru* (przez krótki czas) *mamy teraz prąd*. Woltametr zachowuje się jak ogniwo; blaszka *H*, na której wydzielał się wodór, jest ujemnym biegunem tego ogniwa, druga zaś blaszka *O* jest jego biegunem dodatnim. Na podobnej zasadzie polega budowa *akumulatorów* czyli przyrządów, służących do gromadzenia i przechowywania energii elektrycznej.

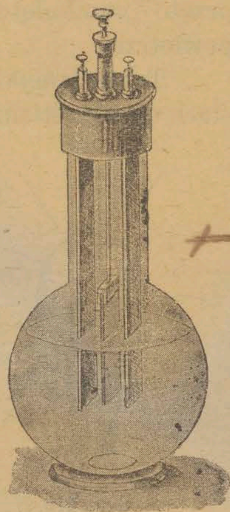
Wiemy, że prąd płynie nie tylko przez druty i woltametr, lecz również i przez samo ogniwo, że w samem ogniwie sprawia również elektrolizę. Dlatego w ogniwie, obok prądu głównego, poczyna wytwarzać się niebawem wskutek wydzielania się wodoru na miedzi prąd drugi dodatkowy, wprost przeciwny głównemu. Blaszka miedziana w ogniwie jest np. biegunem dodatnim dla prądu głównego, lecz dla dodatkowego jest ujemnym. Z tego powodu prąd główny ogniwa niebawem słabnie i znika prawie zupełnie; mówi się, że ogniwo jest *spolaryzowane*.

§ 185. Ogniwa, dające prąd trwały.

Ażeby ogniwo dawało prąd trwały, potrzeba zatem niszczyć swobodny wodór, zbierający się na miedzi; dodając do cieczy soli, zwanej dwuchromianem potasowym, sprawiamy,

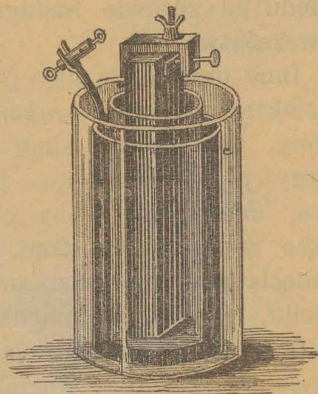
128

iż wodór ten utlenia się i zamienia się tym sposobem na wodę. Najlepiej jest dodawać 100 *g* dwuchromianu potasowego na litr wody, zawierającej 50 *g* kwasu siarczanego; taka ciecz będzie przeszkadzała skutecznie polaryzacyi ogniwa, dopóki dwuchromian potasowy nie zostanie zużyty. Lecz ponieważ nagryza ona miedź, przeto zamiast płytki miedzianej używa się zazwyczaj płytki, zrobionej z platyny lub z węgla (najlepiej z t. zw. koksu gazowego). Na rys. 117. widzimy takie ogniwo; pomiędzy dwoma płytkami węglowemi znajduje się płytka cynkowa, którą należy wyciągać z cieczy, gdy ogniwo nie jest czynne. Istnieją jeszcze rozmaite inne rodzaje ogniw; dają one prąd trwały, dopóki ciała, zapobiegające polaryzacyi, nie są zużyte. Ogniwo Bunsena (rys. 118.) zawiera wodę zakwaszoną, cynk *c* i węgiel *w* (koks gazowy); dla zapobiegania polaryzacyi węgiel jest otoczony mocnym kwasem azotowym, który znowu, ażeby nie mieszał się lub mieszał się powoli) z wodą zakwaszoną, znajduje się w naczyniu porowatem z gliny niewypalonej.



Rys. 117.

Zapomocą bateryi złożonej z ogniw takich, jak na rys. 117., lub z ogniw Bunsena i t. p., można oczywiście wykonać znacznie łatwiej wszystkie doświadczenia, opisane powyżej, niż za pomocą pierwotnych naszych ogniw, rys. 109. i 110., które bardzo prędko ulegają polaryzacyi.

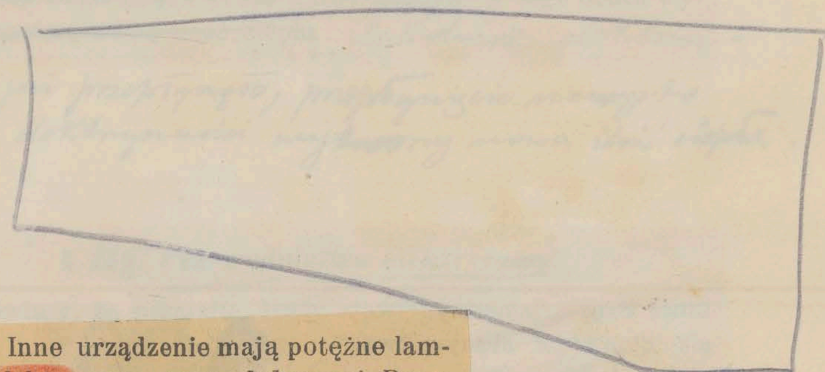


Rys. 118.

§ 186. Światło elektryczne.

Poprowadźmy prąd z baterji przez pasemko metalowe; zamknięte w bańce szklanej /rys.137/ . Pasemko rozgrzewa się /§ 176/ i jasno świeci; ponieważ w powietrzu spaliłoby się niebawem /t.j.połączyłoby się z tlenem powietrza/ przeto zamknięto je w bańce, z której wyciągnięto powietrze. Takie lampki, zwane żarowemi, służą dziś w wielu miastach do oświetlania. Pasemka w tych lampkach bywają wyrobione z metali, wytrzymujących wysokie temperatury tantalu, osmu, wolframu. Dawniej wyrabiano je z węgla. Lampki elektryczne żarowe grzeją słabo i nie wydzielają produktów spalenia, jak naftowe lampy lub gazowe; z tego względu są mniej szkodliwe dla zdrowia ludzkiego.

Rys. 137



Rys. 138

Inne urządzenie mają potężne lampy elektryczne, zwane *łukowemi*. Przypuśćmy, że bardzo silny prąd elektryczny płynie przez dwa pręciki węglowe, zaostrzone jakby ołówki i zetknięte ze sobą ostrzami. W miejscu zetknięcia powstaje zaraz znaczne ciepło; gdy zaś rozsuniemy węgielki, pojawia się między nimi łuk świetlny ~~oślepiającej siły~~ (rys. 138). Przedłużając to doświadczenie, spostrzegamy po niejakim czasie, że węgielek, który jest biegunem dodatnim, stracił ~~swój~~ kształt zaostrzony lub nawet wydrążył się. Węgielek ujemny traci ~~znacznie~~ mniej, ~~a~~ niekiedy nawet zyskuje. Od dodatniego bieguna odrywają się więc cząstki węgla, które spalają się w drodze albo rozpraszają w różne strony. Budowa lamp elektrycznych łukowych polega na takiej zasadzie. Na niej również polega urządzenie pieców elektrycznych, które wytwarzają najwyższe temperatury, otrzymane dotychczas przez uczonych (od 3000° do 4000°.).

F Końce węgli, szczególniej zaś koniec dodatni, zaczynają wydawać oślepiające światło.

§ 187. Opór drutu.

Przypuśćmy, że przez drut metalowy płynie prąd elektryczny. Drut stawia *pewien opór* prądowi; wiemy istotnie, że drut ogrzewa się wówczas (§ 176.); zatem dzieje się tutaj tak, jak gdyby prąd spotykał w drucie *tarcie*, które przezwycięża, przez co powstawałoby ciepło. Wyobraźmy sobie, że przez rurę np. *PQ* (rys. 131.) płynie woda, pchając przed sobą tłok *T*. Tarcie tłoka o ścianki, oraz tarcie wewnątrz samej wody, wytwarzałoby pewien opór dla płynięcia wody; część energii ruchu zamieniałaby się skutkiem tarcia na ciepło. Wprawdzie prąd elektryczny nie jest bynajmniej płynięciem jakiegobądź płynu po drucie, ale, jak ruch wody w rurze *PQ* jest *źródłem energii*, podobnie prąd elektryczny w drucie jest źródłem energii. Istotnie, wiemy, że *prąd elektryczny ma energię;* dzięki tej energii prąd może nabijać woltametry i akumulatory, żarzyć lampki, topić cieńkie platynowe druciki. Kiedy prąd przechodzi przez zwyczajny drut metalowy, energia prądu zawsze wytwarza ciepło; zupełnie podobnie podczas ruchu wody w rurze *PQ* część energii płynięcia zamienia się zawsze na ciepło. Posunięcie tłoka *T* n. p. o jeden centymetr wymaga przezwyciężenia pewnego tarcia, zatem wytwarza pewną ilość ciepła; jakąkolwiek drogę woda odbyła już w rurze poprzednio przed dojściem do miejsca *T*, posunięcie się jeszcze o jeden centymetr wytworzy zawsze nową ilość ciepła. Podobnie co do prądu: jakkolwiek długo już trwa prąd elektryczny w drucie, przejście nowego prądu przez każdy centymetr tego drutu wytworzy zawsze nową ilość ciepła. ilekolwiek elektryczności już przepłynęło, przepłynięcie nowej ilości elektryczności wytworzy nową ilość ciepła.

P T Q

Rys. 131.

§ 188. Przewodnictwo elektryczne.

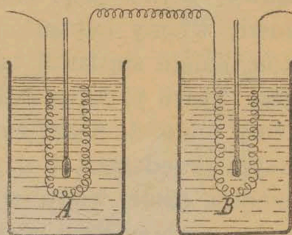
Mówimy, że rozmaite druty stawiają rozmaity *opór* temu samemu prądowi zależnie od tego, ile ciepła wytwarza się w nich z energii tego prądu. Pomieśćmy n. p. w obwodzie ogniwa (lub baterji) dwa druty albo dwa zwoje drutu: *A* i *B* (rys. 132.) jeden za drugim tak, żeby ten sam prąd przepływał

Pomieśćmy

183



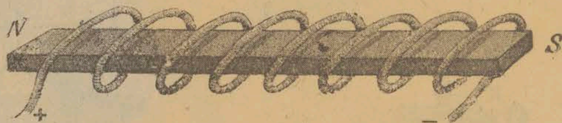
przez obydwa. Zanurzywszy zwoje n. p. do alkoholu i mierząc temperaturę alkoholu, możemy sądzić o ilościach ciepła (por. § 130.), które ten sam prąd wytwarza w dwóch drutach. ~~Jeśli oba~~ Jeśli oba druty są wyrobione z tego samego metalu i są jednakowo grube (czyli mają jednakowe poprzeczne przecięcia), w takim razie ilości ciepła wytworzone mają się do siebie jak długości drutów. Na przykład w drucie dwa razy dłuższym powstaje wówczas dwa razy większa ilość ciepła. Jeśli długości i przecięcia są jednakowe, ale metal drutów nie jest jednakowy, wywiązywane ilości ciepła są wogóle niejednakowe; w drucie srebrnym lub miedzianym wywiązuje się ~~znacznie~~ mniej ciepła, niż w platynowym lub ołowiowym. Mówimy ~~więc~~ srebro i miedź odznaczają się stosunkowo małym *oporem* dla prądu czyli mają duże *elektryczne przewodnictwo*; platyna i ołów stawiają prądowi opór stosunkowo znaczny, t. j. okazują małe elektryczne przewodnictwo.



Rys. 140

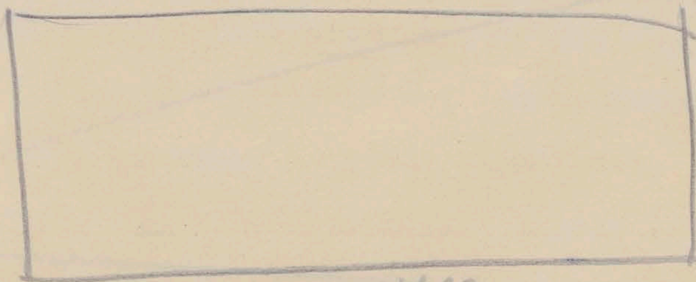
§ 139. Elektromagnes.

Cienki drut miedziany okręćmy starannie jedwabiem (lub bawełną, napojoną następnie woskiem stopionym); taki drut nazywa się *izolowanym*. Weźmy sztabę z miękkiego żelaza *NS* (rys. 129.) i okręćmy ją drutem izolowanym; następnie przepuśćmy prąd przez drut izolowany. Prąd nie przechodzi przez woskowaną bawełnę, a zatem musi okrążać sztabę tyle razy *dokoła*, ile jest skrętów; przez samą sztabę zaś wcale płynąć nie będzie. Zobaczymy, że sztaba nabiera wówczas nowych własności, tak zwanych *magnetycznych;* przyciąga n. p. gwoździki lub opiłki żelazne. Podnieśmy sztabę do góry; opiłki trzymają się jej z obu końców, jak gdyby przyklejone; przerwijmy prąd, a opadną natychmiast. Podobny przyrząd nazywamy, *elektromagnesem*. Powiadamy, że elektromagnes ma własności magnetyczne, dopóki prąd elektryczny krąży koło sztaby; przerywając prąd, odbieramy mu te własności; zamykając prąd, przywracamy je napowrót.



Rys. 141.

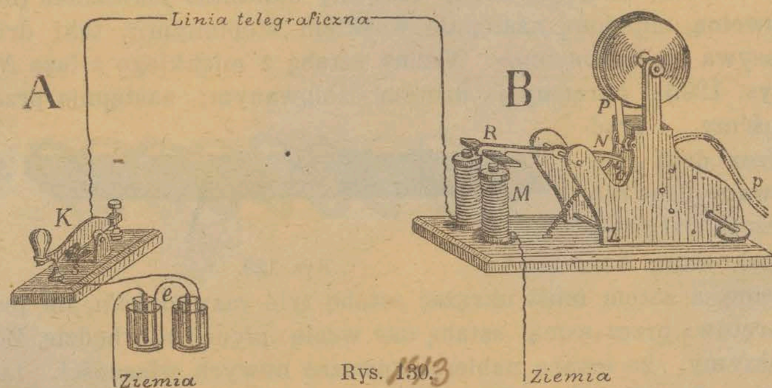
Ażeby sztaba żelazna pod wpływem prądu stawała się silnym magnesem, trzeba, żeby ją prąd okrążał znaczną liczbę razy; dlatego, budując elektromagnesy, nakładają zwoje drutu gęsto jeden przy drugim. Sztaba prosta, jak na rys. 129., przybrawszy własności magnetyczne, przyciąga przeważnie na swych końcach czyli t. zw. *biegunach*; ku środkowi przyciąganie jest słabsze. Ażeby obadwa bieguny mogły wspólnie przyciągać, budują elektromagnesy w kształcie litery *U* lub podkowy (rys. 142) 17 bis



Rys. 142.

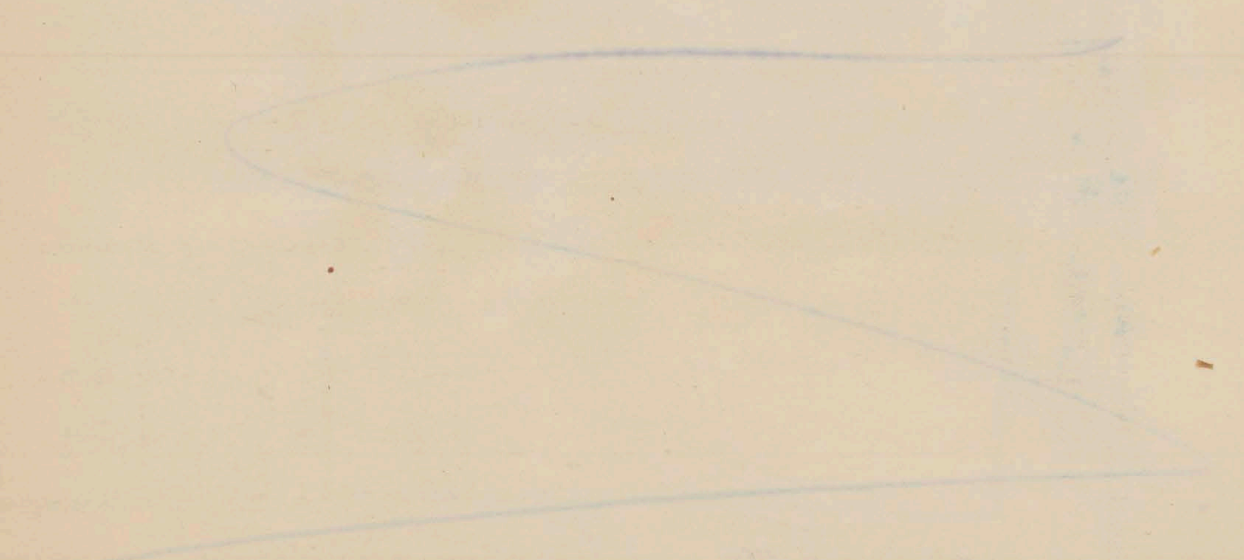
§ 190. Telegraf elektryczny.

Wyobraźmy sobie dwa miasta *A*, *B*, odległe od siebie ~~n. p.~~ o 100 kilometrów. Przypuśćmy, że w pierwszem mieście *A* (rys. 193) znajduje się bateryja elektryczna *e* i klucz *K*, którym można przerywać prąd w obwodzie bateryi lub też zamykać go napowrót. W drugiem mieście *B* niechaj znajduje się przyrząd, złożony z elektromagnesu *M* (rys. 130.) i z kotwicy *R*, osadzonej na dźwigni *NR*, na której drugim końcu znajduje się ołówek *o*. Jeśli elektromagnes zostanie wzbudzony działaniem prądu, kotwica *R* opuści się, koniec *N* podniesie się,



Rys. 193.

ołówek *o* uderzy o pasek papieru *PP*, który przesuwa się przed nim ~~przesuwa~~ pod działaniem mechanizmu zegarowego w *Z*. Ziemia, ogniwa bateryi, klucz, linia telegraficzna, elektromagnes i znów ziemia stanowią razem całkowity obwód; jedyną przerwą w tym obwodzie jest klucz *K*. Naciskając klucz *K* w mieście *A* sprawiamy, iż ołówek *o* w mieście *B* przyciska się do papieru *PP* i pisze po nim kreski lub kropki stosownie do długości czasu, przez który klucz był zamknięty. Z kresek takich i kropek według ustalonej umowy odczytuje się litery, wyrazy i zdania. Na tej zasadzie polega urządzenie *telegrafów elektrycznych;* na podobnej opiera się budowa dzwonków i zegarków elektrycznych.



Czytelnikowi może nasunąć się pytanie: jakim sposobem prąd powrca w ziemi napowrót do baterji ogniw ? dlaczego płynie w ziemi właśnie do ogniw a nie dokądkolwiekbądź indziej ? Trzeba wyobrażać sobie ziemię jako olbrzymi zbiornik, w którym elektryczność jest na jednym poziomie napięcia. Wyobraźmy sobie, że ktoś /A/ w New-Yorku wylał konewkę wody do Oceanu Atlantyckiego, inna zaś osoba B, w jakiś czas później, w Londynie zaczerpnęła z morzą taką samą konewkę. Nie będziemy troszczyli się o to, czy woda, którą B ujął Oceanowi, jest tą samą wodą, której A dostarczył. Nieco podobnie mają się rzeczy w przypadku ruchu elektryczności przez kulę ziemską.

§ ~~197~~. O magnesach.

Do doświadczenia, przedstawionego na rys. ~~141~~, użyjmy sztaby *stalowej*, przekonamy się, że sztaba przyciąga opiłki żelazne podobnie, jak sztaba z miękkiego żelaza. Jednakże sztaba stalowa przyciąga nie tylko dopóty, dopóki dokoła niej krąży prąd, lecz również

Rys. 144.

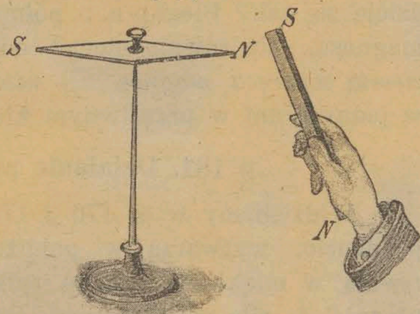
później, gdy prąd już został *przerwany*. Sztaba stalowa pod wpływem prądu staje się *magnesem*, t. j. nabywa własności magnetycznych, nie tylko chwilowo (jak miękkie żelazo), lecz *trwale*. Rysunek 144 okazuje taki magnes z przylegającemi do niego opiłkami.

Niektóre rudy żelazne /zawierające związek tlenu z żelazem, t.zw.magnetyt/ posiadają własności magnetyczne już w naturalnym stanie, ~~xz~~ bez działania prądu elektrycznego. Takim magnesem naturalnym można magnesować stal przez proste pocieranie.

Dzięki istnieniu rud magnetytowych poznano niektóre prostsze zjawiska magnetyczne już w Starożytności.Ale związek pomiędzy prądem elektrycznym a magnetyzmem odkryto dopiero na początku XIX-go stulecia.

§ 192. Przyciąganie i odpychanie się magnetyczne.

Weźmy lekką stalową igiełkę, namagnesujmy ją prądem w sposób, jaki przedstawia rys. 144, i napiszmy na lewym biegunie igiełki literę *N*, na prawym *S*. Namagnesujmy podobnie sztabę stalową, łącząc końce drutu (rys. 141) z tymi samymi biegunami bateryi, jak przed chwilą, i znów napiszmy: na lewym biegunie sztaby *N*, na prawym *S*. Osadźmy teraz igiełkę stalową poziomo na ostrzu (rys. 192.) tak, iżby mogła kręcić się swobodnie we wszystkie strony. Zbliżając sztabę do igiełki, jak na rys. 145., przekonamy się, że biegun *N* sztaby odpycha biegun *N* igiełki i przyciąga jej biegun *S*; biegun zaś *S* sztaby przyciąga *N* igiełki, a odpycha jej *S*. Jednem słowem *jednakowe bieguny (N, N albo S, S) odpychają się, a przeciwne (N, S) przyciągają się.* Widzieliśmy podobnie w § 148., że ciała naelektryzowane jednakowo odpychają się, a naelektryzowane przeciwnie przyciągają się. W tym względzie przeto zachowywanie się ciał magnetycznych i naelektryzowanych jest zupełnie podobne.



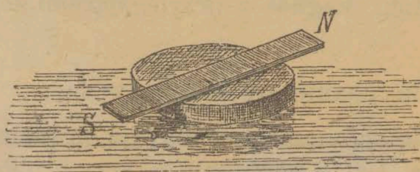
Rys. 145.

§ 193. Magnetyzm ziemski.

Usuńmy zupełnie sztabę w doświadczeniu poprzedniem (rys. 145.); igiełka *NS* wykręci się na ostrzu i ustawi się w pewnym określonym kierunku; jeśli odchylimy ją lekko, powróci do tego położenia. *Koniec N igły wskazuje mniej więcej północ* (w naszych okolicach ustawia się nieco na zachód od północy); *koniec S wskazuje mniej więcej południe.* Takie igiełki w przyrządach, zwanych *busolami* czyli kompasami, służą marynarzom i podróżnikom do odnajdywania kierunków północy i południa. A zatem kula ziemska zachowuje się, jak gdyby była magnesem i jak gdyby miała dwa bieguny, położone mniej więcej w jej istotnych, geograficznych biegunach.

L magnesowa

Połóżmy magnes *NS* na dużym, płaskim korku, a korek umieśćmy na wodzie (rys. 146.). Magnes wykręci się i ustawi się, podobnie jak igła magnesowa, ale nie popłynie cały ani na północ, ani na południe. Dlaczego dzieje się tak? Biegun n. p. północny ziemi przyciąga koniec *N* magnesu, ale równie mocno odpycha jego koniec *S*; dlatego *ziemia wykręca magnes*, ale *nie pociąga* całego magnesu ani w jednym ani w przeciwnym kierunku.

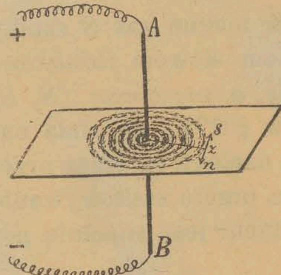


Rys. 146.

187

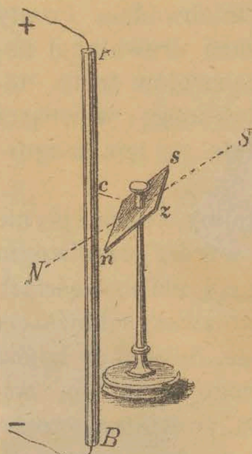
§ 194. Działanie prądu na magnes.

Widzieliśmy w §§ 189 i 191., że prąd elektryczny, płynąc po drucie, wytwarza w pobliżu siłę magnetyczną: w stali trwałą, w miękkiem żelazie tylko przejściową. Zbadajmy dokładniej tę siłę magnetyczną. Poprowadźmy prąd elektryczny przez pręcik metalowy AB (rys. 147), na którym umocowaliśmy poprzecznie kartę tektury. Jeśli posypiemy kartę opiłkami żelaznemi, zobaczymy (za lekkiem wsrząśnieniem), że opiłki układają się w kształcie kół, których środkiem jest miejsce przecięcia się drutu z kartą, (czyli c na rysunku). Prąd magnetyzuje widocznie każdy kawałek żelaza i wyłącznie go, skoro tylko może, kawałek z n. p. ustawia się w kierunku sn, stycznym do koła o promieniu cz, czyli w kierunku, prostopadłym do tego promienia cz.

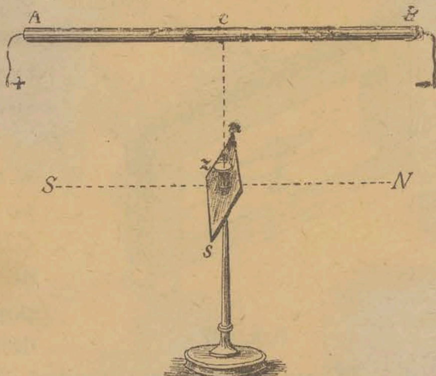


Rys. 147

Zupełnie podobnie działa prąd na gotowy już magnes, który znajduje się w jego pobliżu. Weźmy n. p. igiełkę magnesową z doświadczenia, wyobrażonego na rys. 145. Ustawia się ona sama przez się pod wpływem ziemi w kierunku mniej więcej z północy na południe (NS, rys. 148.), jak wiemy z artykułu poprzedzającego. Jeśli teraz zbliżymy przewodnik AB, po którym płynie prąd, igiełka ustawi się w kierunkn ns (rys. 148.), prostopadłym do linii cz, zupełnie podobnie jak kawałek żelaza z w doświadczeniu poprzedniem (rys. 134.). Wpływ prądu jest silniejszy, niż wpływ ziemi, dlatego igiełka przyjmuje natychmiast położenie ns (rys. 135.), chociaż to położenie nie zgadza się z kierunkiem SN, do którego usiłowałaby doprowadzić ją ziemia.



Rys. 148



Rys. 149.

Jeśli umieścimy poziomo drut AB, przez który prąd płynie (rys. 149), igła magnesowa, znajdująca się poniżej drutu, ustawia się w położeniu ns, poprzecznie do kierunku AB. To położenie nie zgadza się z kierunkiem NS, do którego ziemia usiłuje doprowadzić igiełkę; wnosimy więc, że i tu wpływ prądu jest silniejszy, niż wpływ ziemi.

Przenieśmy teraz drut AB pod igłę sn i powtórzmy to samo doświadczenie. Igła sn znów się wykręci i ustawi poprzecznie do kierunku AB, ale położenie jej będzie wprost przeciwne, niż wprzódy: biegun n zwróci się teraz w stronę, którą poprzednio wskazywał biegun s, a biegun s w stronę, w którą dawniej kierował się n.

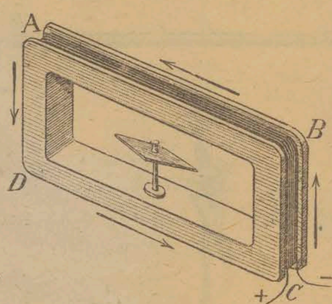
Nareszcie, jeżeli przeniesiemy drut AB pod igłę sn, ale jednocześnie zmienimy kierunek prądu na przeciwny, zobaczymy, że wychylenie igły pozostanie takie, jak w pierwszem doświadczeniu, w którem drut AB był umieszczony nad igłą sn

§ 195. Natężenie prądu. Galwanometry i Galwanoskopy.

Nie każdy prąd elektryczny działa jednakowo na igłę magnesową. Przypuśćmy, że po tym samym, jednakowo względem igły położonym drucie płynie naprzód prąd z jednego ogniwa, następnie zaś prąd, otrzymany z dziesięciu takich samych ogniw; wychylenie igły magnesowej będzie znacznie większe w drugim razie niż w pierwszym, jak tego mogliśmy z góry się spodziewać.

Ażeby wyrazić takie różne własności prądów elektrycznych, mówimy, że prądy te mają różne natężenia. Natężenie prądu płynącego od dziesięciu ogniw jest większe aniżeli natężenie prądu, dostarczonego przez takie samo jedno ogniwo, jeżeli obadwa prądy płyną w obwodach, stawiających iim opór /§ 187/ jednakowy.

Na działaniu prądu na igłę magnesową zasadza się budowa *galwanometrów*, przyrządów służących do mierzenia ~~siły~~ natężenia prądu, oraz *galwanoskopów*, których zadaniem jest wykrywać obecność najsłabszych nawet prądów w danym obwodzie. Prosty galwanoskop widzimy na rys. 150 Na ramce drewnianej nawijamy wiele zwojów drutu, doskonale izolowanego; wewnątrz ramki znajduje się igła magnesowa.



Rys. ~~137~~ 150

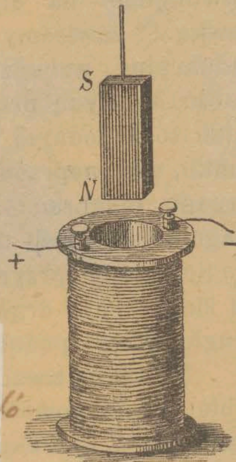
Pamiętajmy o tem, że prąd płynie w kierunku wprost przeciwnym po częściach *BA*, niż po częściach *CD*. Przypomniawszy sobie zatem doświadczenie, opisane w końcu poprzedzającego § 194-go, widzimy ~~odrazu~~ że działanie części *BA* i *DC* na igiełkę jest *zgodne*. Tak samo działanie części *CB* jest zgodne z działaniem części *AD*. ~~Ostatecznie~~, skoro tylko przez zwoje drutu galwanoskopu przejdzie prąd, choćby słaby, igiełka wykręci się natychmiast, zdradzając tym sposobem obecność prądu.

§ 196. Zjawisko indukcyi.

Powiedzieliśmy, że prąd w swem pobliżu wytwarza siłę magnetyczną; istotnie wytwarza ją nie tylko wtedy, kiedy w sąsiedztwie znajduje się żelazo lub stal, lecz wytwarza ją zawsze, choćby ~~n. p.~~ w powietrzu, które go otacza; tylko w powietrzu siła magnetyczna nie sprawia skutków tak wyraźnych, jak w żelazie, ani tak trwałych, jak w stali. Zbudujmy cewkę z drutu izolowanego i przepuśćmy przez tę cewkę prąd (rys. 151.). Cewka zachowuje się wówczas jak magnes: ma dwa bieguny, którymi odpycha lub przyciąga bieguny zwykłego magnesu. Jeśli odwrócimy kierunek prądu, dawny biegun *N* cewki staje się biegunem *S*, biegun zaś *S* staje się nowym biegunem *N*.

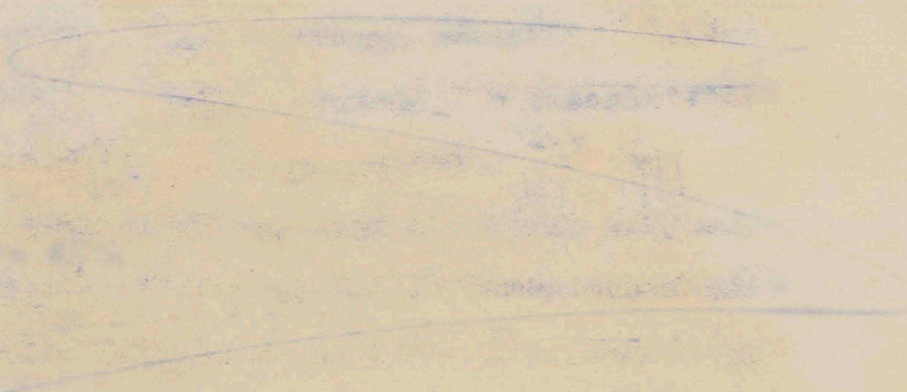
Wykonajmy teraz doświadczenie następujące: Z obwodu cewki usuńmy baterję, natomiast wprowadźmy w ten obwód czuły *galwanoskop*. Następnie nagłym ruchem opuśćmy magnes *NS* do wewnętrznego wydrążenia cewki (rys. 151.). Zobaczymy, że w chwili zbliżania magnesu budzi się w cewce prąd, który wszakże znika, skoro tylko ruch magnesu ustaje. Gdy magnes, znajdując się w cewce, jest w spoczynku, prądu niema; jeśli nagle wyjmiemy magnes, spostrzeżemy na galwanoskopie znowu chwilowe pojawienie się prądu, skierowanego przeciwnie, niż pierwszy.

Prąd, tworzący się w opisany sposób, nazywamy prądem indukcyjnym; zjawisko, które tu poznaliśmy, nazywamy indukcją.



Rys. 151.

190



§ 197. Zasada budowy maszyn dynamo-elektrycznych.

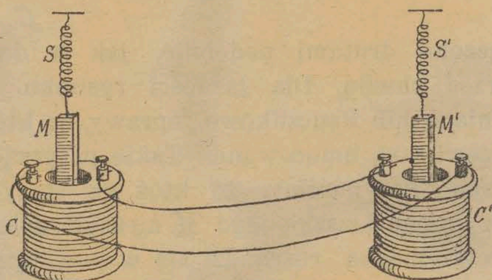
Wyobraźmy sobie, że zbliżyliśmy magnes do cewki /rys.151/, że zaraz później oddaliliśmy go od niej, że go znowu zbliżyliśmy, znowu oddaliliśmy i tak dalej bez końca. Wówczas w cewce będzie nieustannie płynął prąd elektryczny. Taki sam prąd będzie płynął w cewce, jeżeli magnes będzie nieruchomy, cewka zaś będzie się ku niemu zbliżała i od niego oddalała bez przerwy. W obu razach otrzymamy jednakże prąd, który zmienia co chwila kierunek na przeciwny; zarazem ten prąd nie posiada stałego natężenia lecz zmienne. Taki prąd nazywamy przemiennym. Prąd przemienny różni się zmiennością kierunku oraz natężenia od prądu trwałego, którego kierunek jest stały i natężenie nie zmienia się /albo tylko powoli/.

Budowa maszyn dynamo-elektrycznych polega na zasadzie doświadczenia, objaśnionego w artykule poprzednim. Przyrząd, odpowiadający cewce w tem doświadzeniu, porusza się w sąsiedztwie elektro-magnesów; w ten sposób tworzą się potężne prądy, które służą do oświetlenia, poruszania kolei elektrycznych lub innych celów przemysłu elektrycznego. Do poruszania takich "dynamomaszyn" potrzeba ogromnych ilości pracy, których dostarczają motory parowe, wodne lub inne motory.

Niektóre maszyny dynamo.elektryczne dają /podobnie jak ogniwa lub kalorje ogniw/ prąd wtedy, o niezmiennym kierunku. Dzieje się to za sprawą szczególnych urządzeń, wchodzących w skład budowy takich maszyn.

§ ~~154~~ 198 Telefon.

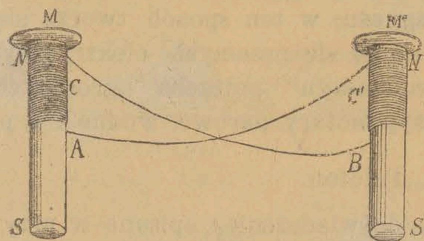
Wykonajmy jeszcze raz doświadczenie, opisane w artykule poprzednim, ale w sposób nieco odmienny. Ponad cewką *C* (rys. 152) umieśćmy magnes *M*, zawieszony na sprężynie *S*. Pociągnijmy magnes *M* mocno ku dołowi i puśćmy go następnie. Magnes będzie odbywał szybkie wahanie do góry i na dół. Poruszając się na dół, będzie on wzbudzał w cewce *C* prąd indukcyjny o pewnym kierunku; poruszając się do góry, będzie wywoływał prąd indukcyjny o wprost



Rys. 152.

przeciwnym kierunku. Końce izolowanego drutu, nawiniętego na cewce C, połączmy, jak pokazuje rysunek, z końcami drutu, nawiniętego na drugiej cewce podobnej *C'*. Ponad tą drugą cewką *C'* zawieśmy drugi magnes *M'* na sprężynie *S'*. Prądy indukcyjne, wzbudzone w *C* przez wahanie czyli drganie magnesu *M*, płyną przez cewkę *C'*; ale ponieważ płyną naprzemian to w jednym, to w drugim (wprost przeciwnym) kierunku, więc naprzemian to przyciągają, to odpychają magnes *M*. Drgania magnesu *M* będą zatem wywoływały podobne drgania magnesu *M'*. Jeśli druty, łączące cewki ze sobą, są dostatecznie długie, ~~wtedy~~ przyrządy *C M* i *C' M'* mogą być ~~bardzo~~ odległe od siebie; ruch drgający jednego magnesu sprawi zawsze na drugiej stacyi podobne drgania drugiego magnesu.

Na takiej zasadzie polega budowa *telefonów*. ~~Wyobraźmy sobie~~ W miejscowości *A* zamiast ciężkiego magnesu *M* z poprzedniego rysunku, wyobraźmy sobie cienką i sprężystą blaszkę żelazną *M* (rys. 153.). umieszczoną tuż obok silnego magnesu *NS*, przez co i sama blaszka *M* jest magnetyczna. Na magnesie *NS*, tuż pod blaszką *M*, osadzona jest cewka *C*. W miejscowości *B*, dowolnie odległej, znajduje się przyrząd ~~zupełnie~~ podobny, złożony z blaszki *M'* z magnesu *N' S'* i z cewki *C'*. Cewki *C* i *C'* są połączone drutami podobnie, jak w doświadczeniu, opisanem przed chwilą. Dla jasności rysunku opuszczono w nim drewniane lub kauczukowe oprawy, w których blaszka, magnes i cewka są umocowane. Takie przyrządy nazywają się *telefonami*. Przypuśćmy, że ktoś na stacyi *A* mówi w telefon *A*, trzymając blaszkę jego *M* niezbyt daleko od ust. Wiemy (z rozdz. 3-go), że mowa ludzka rozchodzi się w powietrzu szeregiem fal głosowych, które, uderzając ~~w~~ blaszkę *M*, wprawiają ją w drganie. Drganie blaszki *M* opisanym ~~już~~ sposobem, (mianowicie za pośrednictwem prądów indukcyjnych, które wytwarza w C i posyła do *C'*), pobudza blaszkę *M'* telefonu *B* do drgań zupełnie podobnych. Kto zatem przyłoży ucho do wylotu telefonu *B*, usłyszy dźwięki i wyrazy, wymawiane przed telefonem *A*. Tym sposobem mogą rozmawiać osoby, oddalone o setki kilometrów od siebie.



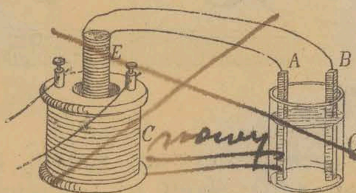
Rys. 153.

192

Genjalny wynalazek telefonu zawdzięczamy Amerykaninowi Grahamowi Bellowi /1876/. Pamiętajmy o tem, że ten wynalazek, z którego po miastach codziennie korzystają tysiące ludzi, oraz mnóstwo innych ważnych i pięknych zastosowań i wynalazków, polega na odkryciu zjawiska indukcji /§ 196/. Tego odkrycia dokonał w roku 1831-ym Michał Faraday, fizyk angielski, jeden z najznakomitszych badaczy przyrody, jacy żyli kiedykolwiek.

§ 185. Dalsze doświadczenia nad indukcyą.

Doświadczenia, tyczące się indukcyi, możemy wykonywać w sposób odmienny. Posługiwaliśmy się dotychczas zwykłym magnesem (*NS* n. p. na rysunku 138.), który wsuwaliśmy do cewki lub wysuwaliśmy z niej. Zamiast takim trwałym magnesem spróbujmy działać (rys. 154) elektromagnesem *E*, któremu nadajemy własności magnetyczne zapomocą prądu z ogniwa *O* (lub z bateryi, złożonej z takich ogniw). Zamiast wsuwania magnesu do cewki i usuwania go z niej spróbujmy teraz zostawiać elektromagnes *E* raz na zawsze wewnątrz cewki, natomiast zamykać i otwierać obwód ogniwa *O*, t. j. wpuszczać prąd do elektromagnesu i przerywać go. Każde zamknięcie prądu, wzbudzającego elektromagnes *E*, działa teraz jak nagłe wsunięcie zwykłego magnesu, t. j. wytwarza w cewce (i w jej obwodzie) przemijający, krótkotrwały prąd indukcyjny. Każde otwarcie prądu działa jak nagłe wysunięcie zwykłego magnesu, t. j. wytwarza prąd indukcyjny, równie krótkotrwały, lecz skierowany wprost przeciwnie.



Rys. 154

Za pomocą klucza K. (§ 190)

§ 200 O induktorach.

Induktorem nazywamy taką cewkę, jak opisana, zawierającą wewnątrz elektromagnes i zaopatrzoną w pomocniczy przyrząd, który przerywa i zamyka prąd w tym elektromagnesie. Na rys. 155-m *C* wyobraża cewkę indukcyjną, *E* wewnętrzny elektromagnes, *O* ogniwo lub bateryę, zaś *SK* przerywacz; *D* i *U* oznaczają końce drutu, nawiniętego na cewce *C* induktora, *d* i *u* końce drutu elektromagnesu. Koło *K* i sprężyna *S* są wyrobione z metalu. Obracając szybko koło zębate *K*, sprawiamy, że sprężyna *S* naprzemian przyciska się do zębów, to znów z nich zeskakuje. Ponieważ, jak widzimy na rysunku, sprężyna *S* i koło *K* są włączone w obwód elektromagnesu,



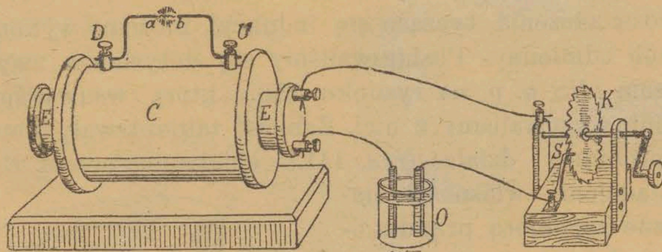
194

148

§ 186. O induktorach.

Induktorem nazywamy taką cewkę, jak opisana, zawierającą wewnątrz elektromagnes i zaopatrzoną w pomocniczy przyrząd, który przerywa i zamyka prąd w tym elektromagnesie. Na rys. 142-gim *C* wyobraża cewkę indukcyjną, *E* wewnętrzny elektromagnes, *O* ogniwo lub baterye, zaś *SK* przerywacz; *D* i *U* oznaczają końce drutu, nawiniętego na cewce *C* induktora, *d* i *u* końce drutu elektromagnesu. Koło *K* i sprężyna *S* są wyrobione z metalu. Obracając szybko koło zębate *K*, sprawiamy, że sprężyna *S* naprzemian przyciska się do zębów, to znów z nich zeskakuje. Ponieważ, jak widzimy na rysunku, sprężyna *S* i koło *K* są włączone w obwód elektromagnesu, przeto szybki obrót koła *K* sprawia nieustanne przerywanie i zamykanie prądu, wzbudzającego ten elektromagnes.

Przy pomocy ogniwa lub bateryi i induktora możemy wykonać wiele pouczających doświadczeń. Wprowadziwszy



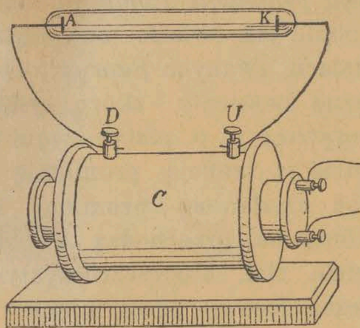
Rys. 155.

Induktory buduje się zazwyczaj w następujący sposób: Na elektromagnesie nawija się drut gruby (t. j. o znacznym poprzecznym przekroju) i niezbyt długi, głównie w tym celu, ażeby prąd bateryi nie spotykał w nim znacznego oporu. Na cewce indukcyjnej, przeciwnie, nawija się drut bardzo cienki i nadzwyczaj długi; bywają induktory, na których cewce znajduje się kilkanaście lub kilkadziesiąt kilometrów drutu. Czyni się to w tym celu, ażeby zwiększyć, o ile podobna, *napięcie* prądów indukcyjnych, powstających w cewce. Induktor, tak zbudowany, dostarcza prądów o napięciu tak wysokiem, że mogą one utorować sobie drogę nawet przez powietrze, t. j. utworzyć w niem iskrę. Umocowawszy zatem w śrubkach *D* i *U* dwa druty, których końce *a*, *b* zbliżamy do siebie, spostrzegamy w przerwie *ab* między nimi (rys. 142.) bicie iskier, jednej za drugą.

Prądy indukcyjne mogłyby przechodzić między zakończeniami *a*, *b* nawet przy znacznie większem ich rozsunięciu,

195.
149

gdyby powietrze w odstępie *ab* było *rozrzedzone*. Możemy przekonać się o tem zapomocą rurki zamkniętej czyli bańki szklanej *AK* (rys. 155), w której przed jej zamknięciem czyli zalutowaniem rozrzedzono powietrze zapomocą pompy rtęciowej lub pneumatycznej. W ścianę tej rurki wtopione są dwa druciki, dźwigające niewielkie płytki metalowe *A*, *K*; druciki te łączymy z biegunami cewki indukcyjnej *D*, *U*. Prądy indukcyjne przechodzą przez powietrze rozrzedzone; nie dają jednak wówczas iskier, lecz tworzą raczej piękne pasmo świetliste, jak gdyby łunę świecącą, rozlaną prawie w całej rurce *AK*.



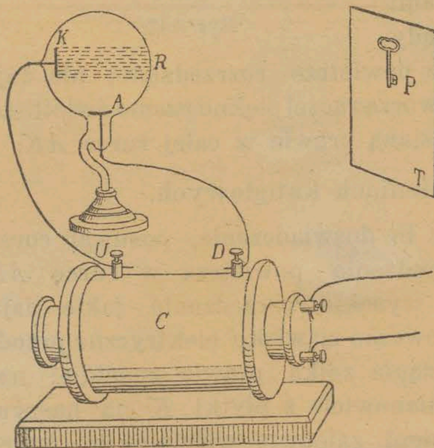
Rys. 155.

§ 188. O promieniach katodowych.

Spróbujmy, powtarzając to doświadczenie, posuwać coraz dalej i dalej stopień rozrzedzenia powietrza w rurce *AK* (rys. 155). Gdy osiągniemy wysokie rozrzedzenie, jakie dają najlepsze pompy rtęciowe, wówczas zjawisko elektryczne przedstawi się odmiennie. Łuna ciągła znika prawie zupełnie; natomiast z jednej płytki (mianowicie z płytki *K* na naszym rysunku) tryska snop promieni zaledwie widzialnych, które biegną przez rurkę w kształcie linij prostych i kończą się na przeciwległej jej ścianie. Płytka *K* w rurce *AK* z rys. 156. nazywa się *katodą* (przeciwległa *A* nazywa się *anodą*); stąd nazwa *promieni katodowych*, którą noszą rzeczone promienie. Same przez się promienie katodowe świecą nadzwyczaj słabo; natomiast szkło rurki świeci jasnem światłem barwy zielonkawej w tem miejscu, gdzie natrafiają je promienie katodowe.

§ 189. O promieniach Röntgena.

Uczony niemiecki Röntgen odkrył przed niedawnym czasem, że ze ścian rurki, świecących pod wpływem promieni katodowych, rozchodzi się dokoła, a więc i na zewnątrz rurki szczególnego rodzaju promieniowanie; to promieniowanie jest niedostrzegalne dla wzroku, ale możemy poznawać je po osobliwych skutkach, które ono może sprawiać. Przedewszystkiem owe *promienie Röntgena* działają na płytki fotograficzne, podobnie jak światło zwyczajne, widzialne. Powtóre w pewnych ciałach, zwanych *fluoryzującemi*, promienie Röntgena wywołują jasne świecenie, skoro tylko na nie padną. Kartka papieru, posypana n. p. platynocyankiem barowym, świeci jasno tam, gdzie ją trafiają promienie Röntgena, podobnie jak szkło pod działaniem promieni katodowych. Potrzecie promienie Röntgena przechodzą swobodnie po liniach prostych przez wiele ciał, nieprzeźroczystych dla światła: n. p. przez papier, przez drzewo, przez miękkie części ciała ludzi i zwierząt i t. p. Inne ciała, jak: ołów, żelazo, kamienie wapienne, kości, nie przepuszczają promieni tych wcale lub tylko w stopniu nieznacznym. To tłómaczy zasadę doświadczenia następującego: Przed kartą *T* tekturową, powleczoną (po przeciwnej stronie) preparatem fluoryzującym, umieszczamy jakibądź przedmiot żelazny lub ołowiany *P* (rys. 157) i rzucamy na przedmiot i kartę promienie Röntgena (z *R* na rysunku). Wówczas na karcie *T* rysuje się ciemno cień przedmiotu *P*. Jeżeli w miejscu *P* umieśćmy rękę, promienie przenikną przez miękkie części dłoni, ale nie przenikną przez kości tak, iż na karcie *T* ukaże się cień szkieletu kostnego umieszczonej przed nią ręki.

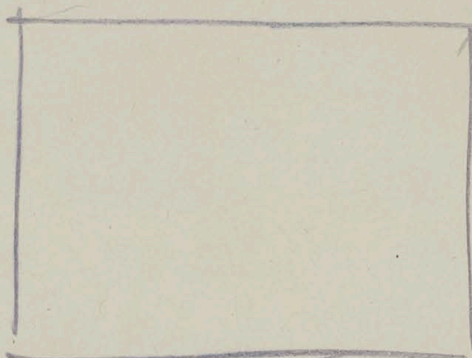


Rys. 157.

Oglądanej od strony preparatu fluoryzującego

§ 203. Zasada urządzenia telegrafu bez drutu.

Za pomocą drutów metalowych połączmy bieguny U i D induktora z ~~dxz~~ dwiema metalowemi kulami A, B /rys.158/, znajdującemi się w niewielkiej odległości od siebie. Ilekolwiek razy przerywa się prąd płynący z baterji, induktor nabija kule A, B ładunkami elektrycznemi, skutkiem czego potężna iskra przeskakuje od kuli do kuli. Zbadawszy takie iskry, fizycy przekonali się, że one bynajmniej nie są jednorazowe; każda składa się z szeregu wyładowań, które następują po sobie w niezmiernie krótkich odstępach czasu. Każde takie wyładowanie jest niezmiernie krótko trwającym prądem elektrycznym, o zmiennem natężeniu i o nieustannie zmieniającym się kierunku; albowiem w opisanem zjawisku kula A jest naładowana raz dodatnio, natychmiast potem ujemnie, za chwilę znowu dodatnio i tak dalej. Kule zmieniają swoje ładunki wiele razy na przeciwne, zanim wszystko ułoży się do równowagi.



Rys. 158

Prądy takie, tak szybko przemienne, budzą dokoło siebie działania indukcyjne, które można odkryć niebawem nawet i w znacznej odległości od kul naszego przyrządu. Na podobnej zasadzie polega też budowa telegrafu bez drutu, urządzenia, które pozwala ludziom porozumiewać się ze sobą nawzajem w bardzo wielkich dzielących ich odległościach. Telegrafować można dzisiaj w ten sposób z Ameryki do Europy albo z okrętu, znajdującego się na pełnem morzu na ląd lub odwrotnie. Telegrafuje się przytem bez żadnego łączącego drutu lub innego przewodzącego łącznika, jaki jest potrzebny w zwykłym telegrafie elektrycznym /§ 190/. Dlatego taki telegraf nazywa się telegrafem «bez drutu» /albo niekiedy «iskrowym»/.

ZARZĄD
C. K. WYDAWNICTWA KSIĄŻEK SZKOLNYCH
W ZAKŁADZIE NAROD. IM. OSSOLIŃSKICH
WE LWOWIE

Lwów, ... 191....

Rozdział VI

i

Zakończenie.

ROZDZIAŁ SZÓSTY.

O promieniowaniu.

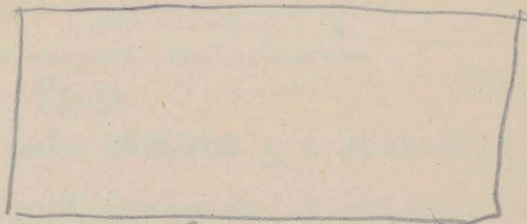
§ ~~290~~ Światło.

W zupełnej ciemności nic nie widzimy; widzimy tylko wtedy, kiedy jest *jasno*. Gdy słońce wschodzi na niebie, ciemność nocy przerzedza się i robi się jasno; powiadamy więc, że słońce *wydaje* lub *wysyła światło*, dzięki któremu widzimy. Podobnie podczas burzy w nocy błyskawice rzucają nagłe i krótkotrwałe światło na cały widnokrąg. Płomień świecy lub lampy rozprasza ciemność w pokoju, więc wydaje światło, jak błyskawica lub słońce, tylko światło słabsze.

§ ~~295~~. Światło rozchodzi się po liniach prostych.

Przypuśćmy, że widzimy w ciemności światło (n. p. latarki) i że chcemy jak najprędzej dojść do ~~niej~~; skierujemy się wówczas wprost w tym kierunku, w którym ~~widzimy~~ światło, nie pójdziemy ani w prawo, ani w lewo. Wiemy z doświadczenia, że światło rozchodzi się *w prostych kierunkach*, że biegnie po liniach prostych.

źródła światła
dostrzeżemy



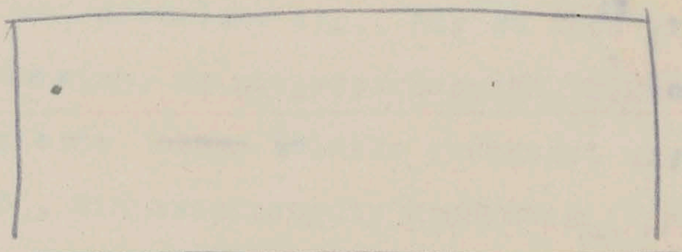
Rys. 159

Linję prostą, po której biegnie światło, nazywamy promieniem.

Wyobraźmy sobie np. ~~xświeczkę~~ świecę /rys.159/ palącą się w powietrzu i uważajmy jakikolwiek punkt /np.A/ jej płomienia. Z punktu A poprowadźmy proste Aa, Ab, Ac; światło ze świecącego punktu A rozbiega się po tych drogach Aa, Ab, Ac. Jeżeli stosownie umieścimy kartkę papieru w niewielkiej odległości od płomienia, promienie Aa, Ab, Ac mogą przecinać kartkę, którą zatem na tych drogach otrzymuje z A światło. Powiadamy wówczas, że kartka jest oświetlona przez światło, pochodzące ze źródła A.

§ 206. Ciemnia optyczna

Rozchodzenie się światła wzdłuż prostych promieni tłómaczy powstawanie obrazów w t.zw. ciemni optycznej. Wyobraźmy sobie prostokątną skrzynkę /rys.160/, wyrobioną z drzewa lub innego nieprzezroczystego materjału. W jednej ściance skrzyni /tę ścianę nazwie-



Rys. 160.

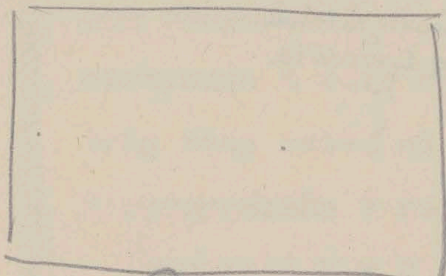
my przednią/ zrobiono mały otworek O w kształcie krążka, o paru milimetrach średnicy. W ściance przeciwległej /tylnej/ umieszczono szybkę szklaną matową. Przypuśćmy, że w pewnej odległości od otworu O znjduje się lampa, świeca płonąca lub inne jakiebądź źródło światła; biegnąc we wszystkie strony, światło pomiędzy innemi dobiega także do O. Światło, które od A doszło do O po drodze AO, biegnie dalej do a; światło, które od B doszło do O po drodze BO, biegnie dalej do b itd. Rozumiemy więc bez trudności, że na szybie matowej powstanie odwrócony obraz ab źródła światła AB.

Gdybyśmy zrobili w przedniej ścianie przyrządu, otwór duży, rozległy, wówczas świetlne obrazy, pochodzące od rozmaitych punktów źródła, zachodziłyby na siebie, nakrywałyby się wzajemnie, tworząc wielką plamę świetlną. Wyraźny obraz źródła nie mógłby utworzyć się wówczas.

W cienistej alei, chroniącej od blasku, w dzień letni słoneczny, dostrzegamy niejednokrotnie jasne kręgi i krążki śród cienia; to obrazy słońca, powstające, jak w ciemni optycznej, działaniem wązkich otworów lub szczelin w gęstem ulistwieniu drzew rozgałęzionych.

§ 207. Cienie.

Ciała metalowe, drewniane itp., gdy są dość grube, nie przepuszczają światła, są nieprzezroczyste. Takie ciała muszą przeto rzucać cienie, skoro światło rozchodzi się po linjach prostych /§ 205/. Nieprzezroczysty kwadracik A /rys.161/, oświetlony płomieniem przez O, rzuca kwadratowy cień na tablicę. Gdybyśmy umieścili rękę na drodze świetlnych promieni, zobaczylibyśmy cień ręki na tablicy. W jasnym blasku słonecznym widzimy podobnie cień rzucany przez dom, przez drzewo lub inne nieprzezroczyste przedmioty.


Rys. 161.

Zaćmienie słońca dostrzegamy wówczas, gdy miejsce na ziemi, z którego patrzymy, weszło w obręb cienia, rzucanego przez księżyc. Jeżeli księżyc zanurzy się w cień rzucany przez kulę ziemską, spostrzegamy zaćmienie księżyca.

§ 208. Z wzrastającą odległością oświetlenie słabnie.

Wiemy z codziennego doświadczenia, że w pobliżu lampy oświetlenie przedmiotów jest silne, jaskrawe; możemy naprzykład czytać książkę, gdy jej karty znajdują się w niewielkiej odległości od lampy. Gdy odległość wzrasta, oświetlenie słabnie

200

156

i może stać się tak słabe, że książki niepodobna jest czytać.

Jeżeli odległość OS w doświadczeniu, które objaśnia rys.161 /§ 207/ jest dwa razy większe od odległości OA, wówczas pole cienia S jest cztery razy większe od pola kwadracika A. Rzeczywiście, arkusz papieru, wycięty wzdłuż granic cienia S i złożony naprzykład we czworo, dokładnie przykrywa pole A.

Usuńmy nieprzezroczysty kwadrat A: pole S otrzymuje wówczas to samo światło, które przedtem otrzymywał A. Widzimy zatem, że na każdy z 4-ch kwadratów, z których składa się S, przypada tylko czwarta część oświetlenia, jakie otrzymuje A. Ponieważ S znajduje się dwa razy dalej od O niż A, więc każda jednostka pola S otrzymuje 4 razy mniej światła.- Gdyby S znajdowało się trzy razy dalej od O niż A, każda jednostka pola S otrzymywałaby 9 razy mniej światła.

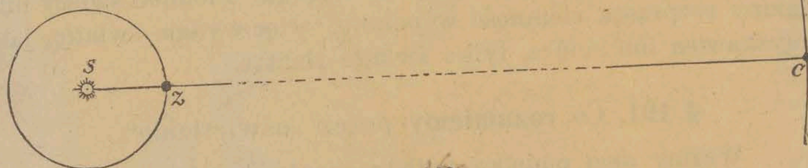
Ponieważ 2 x 2 = 4, 3 x 3 = 9 itd., mówi się zatem, że 4 jest kwadratem dwóch, 9 kwadratem trzech itd. A zatem oświetlenie jednostki pola słabnie z wzrastającą odległością od źródła światła; jest ono mianowicie zawsze w stosunku odwrotnym do kwadratu tej odległości.

201.

157

§ 192. Słońce i gwiazdy stałe.

Słońce jest taką samą gwiazdą, jak inne gwiazdy, t. zw. *stałe*, których tyle widzimy na niebie; a jednak ukazuje się nam tak zgoła inaczej. Słońce nie tylko jest samo widzialne, lecz i rozświeca wszystko dokoła; tymczasem gwiazdy nie oświetlają ziemi (lub raczej oświetlają ją bardzo słabo). Otóż ta różnica tłómaczy się niezmiernem oddaleniem gwiazd. *Najbliższa* z pomiędzy gwiazd stałych (*planety*, jak Wenus, Mars, Jowisz, trzeba odróżnić od gwiazd stałych) znajduje się 260000 razy dalej od nas, niż słońce. Wyobraźmy sobie, że ziemia nasza Z (rys. 146. 162), zamiast krążyć w swej obecnej



Rys. 146. 162

odległości od słońca S, odsuwa się od niego 260000 razy dalej, n. p. aż do C na rys. 162, na którym należy wyobrazić sobie punkt C oddalonym 260000 razy dalej od S, niż punkt Z. Ziemia Z w teraźniejszej odległości od słońca SZ zajmuje pewien ułamek kulistej powierzchni Z (zatoczonej dokoła słońca promieniem SZ) i otrzymuje odpowiedni ułamek całego światła, wysyłanego przez słońce na wszystkie strony. Jeśli odległość SC jest znacznie większa, niż SZ, powierzchnia kulista o promieniu SC jest nieporównanie bardziej rozległa, niż powierzchnia kulista o promieniu SZ; zatem ta sama ziemia przeniesiona do C, wykrawałaby bez porównania *mniejszy ułamek* powierzchni C, więc otrzymywałaby bez porównania *mniejszy ułamek* całego światła, wysyłanego przez słońce, niż ten, jaki dziś otrzymuje.

W takiem właśnie położeniu znajdujemy się względem gwiazd t. zw. stałych. Otrzymujemy niezmiernie drobne ułamki całkowitego światła, jakie one wysyłają; dlatego gwiazdy wydają nam się na niebie li tylko świecącymi *punktami*. W istocie są to słońca olbrzymie, często większe i potężniejsze od *naszego słońca;* wszechświat zaś zawiera miliony i miliony takich słońc, które żarzą się w niezmiernych odległościach od siebie.

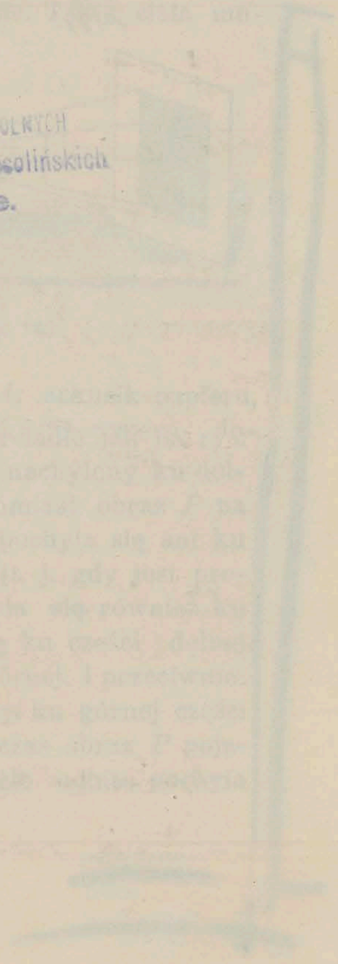
§ 195. Prędkość rozchodzenia się światła.

Z jaką prędkością rozchodzi się światło? Co o tem możemy powiedzieć z codziennego naszego doświadczenia? Tylko tyle, że światło musi rozchodzić się z nadzwyczaj znaczną prędkością. Wiemy n. p., że błysk wystrzału armaty dobiega nas znacznie wcześniej od grzmotu. A wszakże głos rozchodzi się prędko; w powietrzu przebywa on 340 metrów w ciągu sekundy (§ 198). A zatem światło musi biedz jeszcze znacznie prędzej od głosu. Uczeni zmierzyli prędkość rozchodzenia się światła; przekonali się ~~oni~~, że *światło przebiega 300000 km w ciągu sekundy.* A zatem światło biegnie około 900000 razy prędzej od głosu; w tym samym czasie, w którym ~~n. p.~~ huk wystrzału oddalił się dopiero o jeden *milimetr* od miejsca wystrzału, błysk wystrzału zdołał już od tego miejsca odbiedz blizko o cały *kilometr*.

§ 196. Odległość ziemi od słońca i gwiazd.

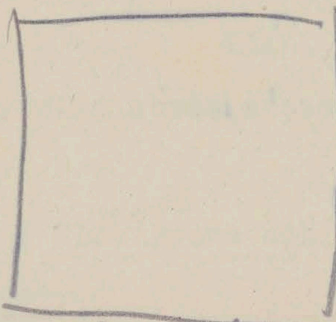
Ziemia krąży dokoła słońca w średniej odległości, wynoszącej 148700000 kilometrów. Dzieląc tę liczbę przez 300000, otrzymujemy (niespełna) 496. A zatem światło zużywa blizko 496 sekund, czyli przeszło 8 minut czasu, ażeby przebyć odległość od słońca do ziemi. Najszybszy pociąg z pomiędzy tych, jakie biegną obecnie na kolejach żelaznych, musiałby pędzić bez ustanku *przez 350 lat*, ażeby nas zawieść na słońce; to porównanie uczy, jak niezmiernie wielka jest prędkość, z jaką rozchodzi się światło. Widzimy zarazem, że, gdyby w pewnej chwili słońce nagle zgasło, spostrzeglibyśmy to wydarzenie na ziemi dopiero po upływie 8 minut od chwili zgaśnięcia.

Najbliższa z pomiędzy gwiazd znajduje się 260000 razy dalej od nas, niż słońce. (§ 192). A zatem światło tej gwiazdy biegnie przez przeszło dwa miliony minut, czyli *przez 4 lata mniej więcej*, zanim dobiegnie do ziemi. Inne gwiazdy znajdują się jeszcze dalej. Gwiazda *Syryusz* n. p. znajduje się tak daleko, że światło jej biegnie przez blizko 9 lat, zanim dobiegnie do ziemi. Tymczasem, gdyby światło mogło przejść przez kulę ziemską, odbyłoby ono w ciągu $\frac{1}{23}$-ej części sekundy drogę prostą od bieguna północnego do południowego. Jeżeli zważymy, jak niezmiernie małą cząstką 9-ciu lat jest $\frac{1}{23}$-cia część sekundy, dojdziemy do wniosku, że cała nasza ziemia wobec wszechświata jest jak gdyby kropelką wobec oceanu.



§ 212. O odbijaniu się światła.

Do dalszych doświadczeń okaże się pożytecznym przyrząd, wyobrażony na rys.163-im. Widzimy tam okrągłe płaskie pudełko BB wyrobione z blachy; ściana tylna jest blaszana, przednią stanowi szyba szklana, przez którą widzimy wnętrze przyrządu. W miejscu s na obwodzie wycięto szczelinę, przez którą

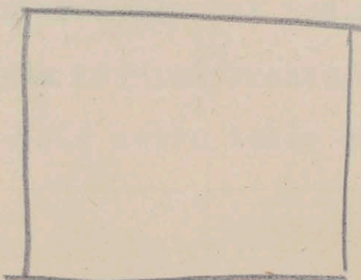


Rys. 163

wpuszczamy wiązkę światła do wnętrza pudełka. Jeżeli środek O jest wolny, przez nic nie zajęty, światło biegnie po drodze prostej do s do O i dalej do s'; w s' utworzy się plamka świetlna, obraz szczeliny s. Umocujmy teraz w tylnej ścianie pudełka płaskie zwierciadło czyli lusterko Z tak, żeby zajmowało środek O. Plama świetlna, stanowiąca obraz szczeliny, nie utworzy się terz w s' lecz w s"; zwierciadło zmienia kierunek biegu promieni, odwraca je od Os' do Os". Powiadamy, że zwierciadło odbija promienie światła.

Jeżeli wprowadzimy nieco dymu do wnętrza przyrządu, uwidocznimy przebieg światła w powietrzu; zobaczymy wówczas promienie padające sO i odbite Os".

Ustawmy zwierciadło Z najprzód tak, żeby było prostopadłe do padających promieni. Wówczas światło odbija się napowrót do szczeliny; nie widzimy wówczas odbitego obrazu /rys.164, I/. Gdy ustawimy zwierciadło jak na rys.164-ym, II, promienie padające są bardziej zbliżone do dolnej części zwierciadła; wówczas obraz szczeliny S" ukazuje się w górze, zatem odbite



Rys. 164.

promienie przechyliły się ku górnej części zwierciadła. I przeciwnie: gdy promienie padające są bardziej zbliżone do górnej części zwierciadła /rys.164, III/, promienie odbite pochylają się ku dolnej, więc obraz szczeliny s" zjawia się u dołu.

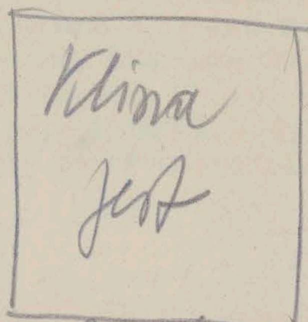
§ 213. Prawo odbijania się światła.

Ażeby poznać dokładniej prawo odbijania się światła, wyobraźmy sobie, że poprowadziliśmy prostopadłą do płaszczyzny zwierciadła Z /w artykule poprzednim/, w tem miejscu, gdzie trafia je promień światła, wychodzący ze szczelin s /rys.163/. Kierunek tej prostopadłej wskazuje przybliżenie cienki drucik p, utwierdzony prostopadle do zwierciadła, jak pokazuje rys.163. Promień sO możemy nazwać padającym, promień Os" odbitym. Dla zwięzłości nazywajmy jeszcze kąt sOp /tworzony przez promień padający z kierunkiem prostopadłej p/ kątem padania i podobnie kąt pOs" - kątem odbicia. Widzimy natychmiast, że możemy mierzyć kąty padania i odbicia na naszym przyrządzie; wystarczy w tym celu mierzyć łuki sp, ps" na jego obwodzie.

Pozwólmy teraz paść promieniowi sO na zwierciadło Z, zauważamy dokładnie miejsce odbicia s" i znierzmy kąty sOp, pOs". Okaże się, że one są równe. Jakikolwiek jest kąt padania /np. 25°, 30° itd./, kąt odbicia jest mu równy. Jeżeli promień padający jest skierowany prostopadle do zwierciadła kąt padania jest zerem; promień odbity jest wówczas również prostopadły do zwierciała, kąt odbicia równa się zatem także zeru. Kąt odbicia równa się zawsze

kątowi padania.

Prawo, które w tej chwili ~~wyprowadziliśmy~~ wypowiedzieliśmy, wymaga jeszcze uzupełnienia. Przypuśćmy, że mamy zadaną płaszczyznę zwierciadła ZZ /rys.165/;



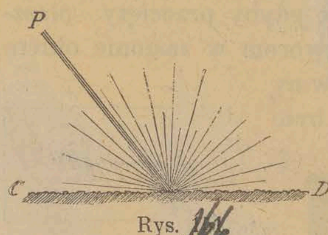
Rys. 165.

znamy więc prostopadłą CN. Przypuśćmy, że znamy też kierunek promienia padającego AC. Bardzo wiele prostych, naprzykład CF tworzy z prostopadłą CN kąt równy kątowi ACN. Tymczasem nie CF oczywiście będzie promieniem odbitym, lecz jedynie tylko CD. Uzupełniamy więc powyższe prawo w sposób następujący: promień odbitej leży w płaszczyźnie, przechodzącej przez promień padający i przez prostopadłą do płaszczyzny zwierciadła.

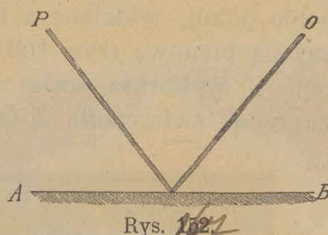
W doświadczeniach, opisanych w § 212-ym, każda płaszczyzna zawierająca obadwa promienie /padający i odbity/ oraz prostopadłą p do zwierciadła, leży równolegle do tylnego dna lub do przedniej szyby pudełka. Skoro szczelina s ma pewną długość, tedy wychodzi z niej całe pasmo padających promieni; od zwierciadła odbija się podobnież pasmo promieni odbitych. Każdemu padającemu promieniowi odpowiada promień odbity i do każdej takiej pary promieni stosuje się prawo, które przed chwilą podaliśmy. Dlatego też długość odbicia s" jest równa długości szczeliny s.

§ 198. Rozpraszanie się światła.

Wyobraźmy sobie dwie powierzchnie: jedną AB (rys. 152) gładką, równą, zbitą, jaką okazuje szkło, rtęć lub wypolerowany metal; drugą CD (rys. 153), nierówną, ziarnistą, chropowatą, pełną drobniutkich wyniosłości i zagłębień. Taką powierzchnię ma zwyczajnie papier, gips, drzewo (nie pokryte



Rys. 153



Rys. 152

politurą), płótno; taką również ma skóra naszego ciała. Snop światła P, padającego na pierwszą powierzchnię, daje podobny snop światła odbitego O, gdyż wszystkie jego promienie odbiją się jednakowo od powierzchni AB. Inaczej dzieje się na powierzchni CD. Jedne promienie odbiją się od wyniosłości tej powierzchni; inne pójdą głębiej, jak gdyby wchodząc nieco w głąb ciała; na powierzchni ciała utworzy się jak gdyby cienka skórka, do której światło wchodzi i z której napowrót wychodzi. Łatwo zrozumieć, że wychodzące światło nie utworzy już snopu, lecz rozprószy się we wszystkich kierunkach; będzie to, jak zwykle mówimy, światło *rozprószone*. Światło, które nazywamy „dziennem", jest światłem słonecznem, rozprószonem w odbiciu od chmur i od przedmiotów, jakie wkoło nas się znajdują.

Kiedy snop światła odbija się od czystego zwierciadła *w ciemnym* pokoju, wówczas widzimy obraz odbity, ale samego zwierciadła dostrzedz prawie nie możemy; to znaczy, że całe światło odbite idzie tylko w jednym kierunku. Jeśli zwierciadło jest zapylone, widzimy je, przeciwnie, z różnych miejsc w pokoju; wtedy przynajmniej część światła się rozprasza. Podstawmy rękę, papier lub płótno pod snop padającego światła; nigdzie nie zobaczymy wyraźnego odbitego obrazu, lecz pokój napełni się bladem, nieco mdłem światłem rozprószonem. Pomiędzy rozpraszaniem się a odbijaniem się światła zachodzi więc istotna różnica. Dzięki światłu rozprószonemu widzimy ciało, które je rozprasza; dzięki światłu, wyłącznie tylko odbitemu, widzielibyśmy jedynie ciało, które je rzeczywiście wysyła.

217
163

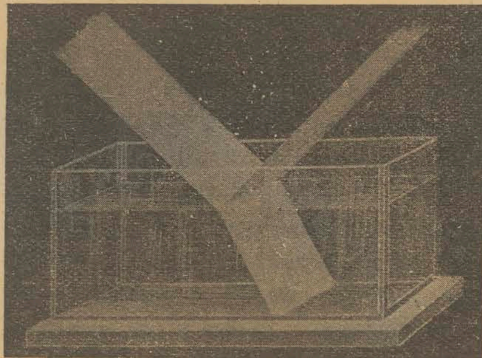
§ 199. Widzimy nie tylko świecące, ale i oświetlone przedmioty.

Słońce wysyła światło, jest ciałem świecącem. Gwiazdy stałe, jak Syryusz n. p., są również świecącemi ciałami. Ale planety i księżyc same przez się nie świecą; światło ich jest tylko światłem słonecznem odbitem. Płomień lampy, ogień na kominku, pasemko węgla w zasilanej przez prąd lampce żarowej (§ 167.), kawałek fosforu, robaczek świętojański — wszystko to są ciała świecące. Natomiast mnóstwo otaczających nas ciał nie świeci; ziemia n. p., kamienie, woda, przedmioty drewniane, metalowe, gliniane, sukno, płótno i t. d. są niewidzialne w ciemności i stają się widzialne dopiero, gdy są „oświetlone", t. j. gdy światło pada na nie skądinąd. A zatem widzimy wszystkie te ciała tylko dzięki światłu, które one odbijają i rozpraszają. W ten sposób n. p. widzimy smugi światła, jeśli promienie słoneczne wchodzą do pokoju przez szczeliny i szpary i jeśli dużo pyłu unosi się w powietrzu, lub też, gdy puściliśmy umyślnie obłoczek dymu w drogę promieni.

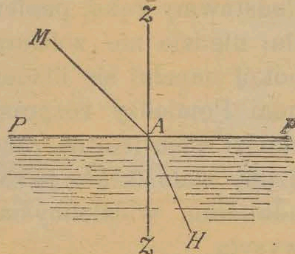
H metalowe

§ 200. Załamywanie się światła.

Puśćmy płaską smugę światła na powierzchnię wody, jak pokazuje rys. 153. Zobaczymy przebieg światła przez powietrze i wodę, jeśli wprowadzimy obłoczek dymu do powietrza, a do wody dodamy nieco mleka. W powietrzu widzimy dwie smugi: jedną światła padającego, drugą — odbitego; w wodzie widzimy również smugę, ale *nie stanowi ona przedłużenia w prostym kierunku smugi, padającej na wodę*. Poprowadźmy linię *PP* poziomo; niechaj ona wyobraża powierzchnię wody (rys. 154.).



Rys. 153.



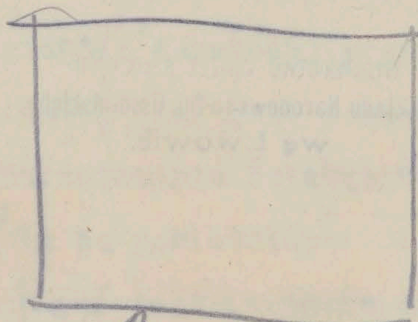
Rys. 154.

Poprowadźmy inną linię *ZZ* pionowo, więc prostopadle do pierwszej. Niechaj *MA* wyobraża kierunek światła, padającego na wodę; światło, idące przez wodę, ma wówczas kierunek *AH*, oddaliło się więc od *AP*, a zbliżyło do *ZZ*. Powiadamy, że *światło złamało się* w przejściu z powietrza do wody.

§ 127. Prawo załamywania się światła.

Ażeby poznać prawo załamywania się światła, posługujemy się przyrządem, który opisaliśmy w § 212-ym. Zamknąwszy go od przodu szybką szklaną, napełniamy ten przyrząd wodą aż po środek O; przez szczelinę s wpuszczamy snop świetlnych promieni. Ażeby widzieć przebieg promieni w powietrzu i w wodzie, zamącamy je lekko umyślnym dodatkiem /dymu i mleka ~~std~~ itp./ jak w artykule poprzednim.

Uważajmy teraz przebieg jednego promienia; widzimy go na rys. 170-ym. Promień padający SO załamie się, przechodząc z powietrza do wody i wytworzy w wodzie promień OS'; utworzy on oprócz tego jeszcze promień odbity od powierzchni wody, ale ten promień odbity dla uproszczenia opuściliśmy na rysunku.



Rys. 170.

Przez środek O poprowadźmy prostopadłą PP do powierzchni wody. Kąt SOP nazywamy kątem padania, kąt S'DP - kątem załamania.

Promień załamany leży znowu /podobnie jak w przypadku odbicia/ w płaszczyźnie, przechodzącej przez promień padający i przez prostopadłą do powierzchni granicznej. Ale kąt załamania nie jest równy kątowi padania. Jeżeli światło przechodzi z powietrza do wody, kąt załamiania jest zawsze mniejszy od kąta padania.

Poprowadźmy z S prostopadłą SH do/górnej/ OP i z S' prostopadłą S'K do/dolnej/ OP. Stosunek tych odcinków, w razie, gdy światło przechodzi z powietrza do wody,

wypada jak następuje:

SH : S'K = 4 : 3

-Przypuśćmy teraz, żez szczelina znajduje się nie w S, lecz w T, tak iż TO jest padającym, OT' załamanym promieniem. Powtarzając pomiar, podobnie jak wykonaliśmy go w położeniu poprzedniem szczeliny, znajdujemy

TM : T'N = 4 : 3

- stosunek 4 : 3 dla uważanej pary ciał /powietrza i wody/ jest więc stały, nia zależy od położenia szczeliny na obwodzie pudełka t.j. nie zależy od kątów padania i załamania. Ten stosunek nazywa się spółczynnikiem załamania światła / w przej-sciu z jednego ciała do drugiego/. Zazwyczaj przypuszczamy, że jednem z uważanych dwóch ciał jest powietrze; mówimy więc o spółczynniku załamania światła w wodzie lub w szkle w odniesieniu do powietrza.

Gdyby światło wpadało do wody w miejscu S' i szkło do O jako promień S'O, załamałoby się w przejściu z wody do powietrza i wytworzyłoby promień załamany OS. Spółczynnik załamania powietrza w odniesieniu do wody wynosi więc widocznie 3 : 4.

§ ~~201~~ 98. Dlaczego światło załamuje się w przejściu z powietrza do wody.

Światło, jak powiedzieliśmy, rozchodzi się z prędkością 300000 *km* na sekundę. Jest to prędkość zwyczajna, z jaką światło biegnie przez przestworza puste lub prawie puste, n. p. pomiędzy słońcem a ziemią; z tą prędkością światło biegnie również w powietrzu. Lecz światło przez inne ciała biegnie powolniej; n. p., rozchodząc się *w wodzie*, przebywa około 225000 *km* w ciągu sekundy czyli mniej więcej trzy czwarte drogi, jaką przebywa w tym samym czasie w powietrzu. Zatem, gdy w powietrzu światło ujdzie ~~n. p.~~ 4 centymetry, w wodzie ujdzie w tym samym czasie tylko 3 centymetry.

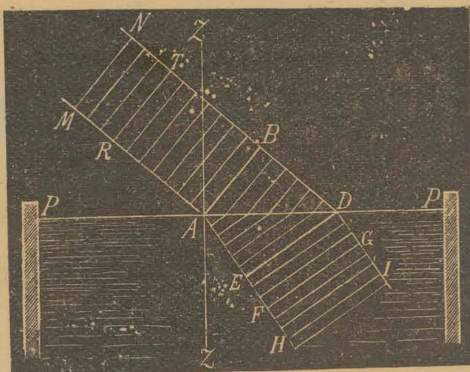
Ta mniejsza w wodzie niż w powietrzu prędkość światła jest przyczyną załamywania się światła w przejściu z powie-

tą samą niemal

anż

trza do wody. Przypuśćmy, że istotnie na powierzchnię wody *PP* (rys. 155.) pada snop, czyli wiązka promieni światła. Widzimy na rysunku dwa promienie tej wiązki, *MA* i *ND*, które stanowią jej granice. Światło biegnie *naraz* wszystkimi promieniami wiązki, więc n. p. jest jednocześnie w *M* i w *N*, potem w *R* i w *T*, jednem słowem posuwa się ono naprzód jak by liniami: *MN*, *RT*, *AB* i t. d. Taka linia nazywa się *czołem* wiązki świetlnej. Jeśli wiązka świetlna pada na wodę ukośnie (jak na rysunku), wówczas promień *MA* dobiega do wody nieco wcześniej, niż promień *ND;* gdy pierwszy jest w *A*, drugi jest dopiero w *B*. Pierwszy promień wchodzi teraz do wody; drugi biegnie jeszcze przez powietrze. Światło biegnie powolniej w wodzie, niż w powietrzu; w tym czasie, w którym drugi promień od *B* dojdzie do *D*, pierwszy promień odbędzie w wodzie drogę krótszą; przeto czoło wiązki w wodzie nie będzie nachylone tak samo, jak *MN*, jak *RT*, jak *AB*; lecz cofnie się nieco wstecz stroną pierwszego promienia, czyli będzie położone tak, jak *ED* n. p., jak *FG*, jak *HI* i t. p. A zatem kierunek rozchodzenia się światła w wodzie będzie inny, niż w powietrzu; będzie mianowicie bardziej zbliżony do prostej *dolnej AZ*, prostopadłej do powierzchni *PP*.

niejako

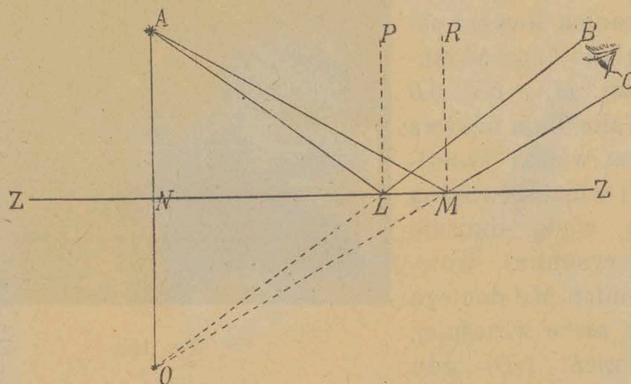


Rys. 155.

Przypuśćmy teraz, że światło pada na powierzchnię *PP* prostopadle (a więc tak, jak n. p. *ZA* na rys. 154.). Czoła w wiązce padającej są wówczas równoległe do *PP* i wszystkie promienie światła wchodzą do wody w tej samej chwili. A zatem niema teraz powodu, ażeby czoła wiązki nachyliły się w wodzie inaczej, niż w powietrzu, ażeby przestały być równoległe do *PP*. Światło w wodzie pójdzie w poprzednim kierunku (w kierunku *AZ* na dół); światło nie załamuje się, gdy wchodzi do wody prostopadle do jej powierzchni.

§ 202. O obrazach odbitych.

Przypuśćmy, że na zwierciadle *ZZ* (rys. 172) pada promień światła *AL*, idący od źródła *A*. Odbija się on od *ZZ* w miejscu *L*, przypuśćmy w kierunku *LB*. Lecz *A* wysyła promienie we wszystkie strony. Inny więc promień, n. p. *AM*,

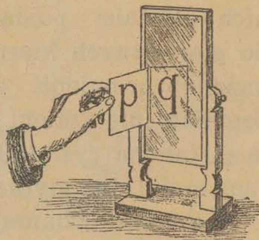


Rys. 156. 172

odbija się w *M* i pójdzie wzdłuż *MC*. Promienie *LB* i *MC* rozchodzą się, podobnie jak rozchodzą się promienie *AL* i *AM*. Albowiem, skoro *AM* jest bardziej pochylony ku *ZZ*, niż *AL*, więc i *MC* musi być bardziej pochylony ku *ZZ*, niż *LB* (zob. § 197.). Przedłużając *BL* i *CM* poza linię *ZZ*, widzimy, że *BL* i *CM* przeninają się w miejscu *O*; to miejsce *O* leży na prostej *ANO*, prostopadłej do *ZZ*. Jeśli patrzymy od strony *BC*, promienie *LB* i *MC* sprawiają w oku takie wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu *O*; albowiem przedłużamy bezwiednie *BL* i *CM* aż do przecięcia się w *O*, i pomimowoli przypisujemy promienie *LB* i *MC* ~~istniejącemu~~ źródłu *O*, które wysyłałoby je rzeczywiście, gdyby ono tam było, a zwierciadła wcale nie było. Tym sposobem powstaje w *O* t. zw. *obraz* punktu *A*, widziany w zwierciadle. Tak samo powstają obrazy całych przedmiotów, odbijane przez zwierciadła, szyby lustrzane, przez powierzchnie wód i t. d.

H 212, 213.

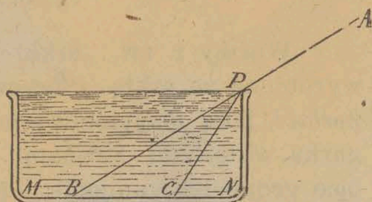
Możemy przekonać się na rysunku ~~156-ym~~ 172-im, że odległość *ON* jest równa odległości *AN*. Tak bywa zawsze przy tworzeniu się obrazów odbitych: im dalej od powierzchni zwierciadła znajduje się punkt, wysyłający promienie, tem dalej od tej, powierzchni widzimy obraz. Łatwo więc zrozumieć, że obraz odbity każdego przedmiotu będzie położony przeciwnie, niż sam przedmiot względem odbijającej powierzchni; n. p. litera p będzie wyglądała w odbiciu jak litera q (rys. ~~157.~~ 173)



Rys. 173

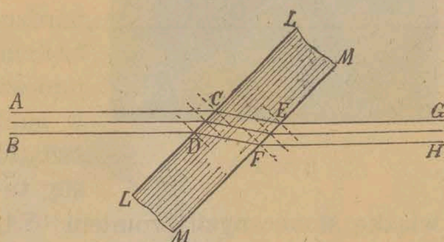
§ 203. Niektóre zjawiska, polegające na załamywaniu się światła.

Promienie światła w przejściu z wody do powietrza załamują się przeciwnie, niż w przejściu z powietrza do wody (§ 200.); mianowicie oddalają się wówczas od linii, prostopadłej do powierzchni granicznej. Możemy to okazać zapomocą prostego przyrządu. Weźmy prostokątne pudełko *MNP* i narysujmy podziałkę na jego dnie (rys. 158.). Patrząc od *A*, widzimy wówczas część *MB* podziałki; resztę *BN* zasłania ścianka *NP* samego pudełka. Napełnijmy pudełko wodą i patrzmy z tego samego miejsca *A*, z którego spoglądaliśmy wprzódy; dzięki załamywaniu się światła widzimy dalszą część podziałki, sięgającą n. p. do *C*. Podobnym sposobem można wytłómaczyć, dlaczego kij, zanurzony do połowy w wodzie tak, ażeby był nachylony ku powierzchni wody, wydaje się jak gdyby złamany.



Rys. 174

Ponieważ w przejściu ze szkła do powietrza światło załamuje się wprost przeciwnie, niż w przejściu z powietrza do szkła, zatem łatwo zrozumieć, że promienie światła, jak *AC*, *BD* i t. d. (rys. 175), trafiwszy na płytkę szklaną o równoległych ścianach *LLMM*, nachyloną do nich ukośnie, pójdą dalej, jak *EG*, *FH* i t. d., równolegle do pierwotnych kierunków. Dwa przeciwne sobie załamania każdego promienia znoszą się, jak widzimy na rysunku; snop promieni nie zmieni ostatecznie kierunku, przesunie się tylko, n. p. jak na rys. 175-ym, ku dołowi; oczywiście przesunie się tem mniej, im płytka jest cieńsza.

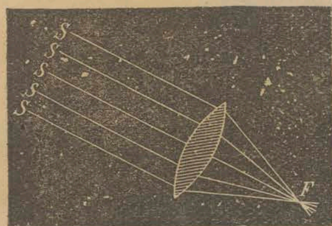


Rys. 175

Światło załamuje się nie tylko w przejściu z jednego ciała do innego. Gdy mieszamy wodę zimną z bardzo gorącą, spostrzegamy smugi migotliwe, które błyszczą przez chwilę i niebawem znikają. Jest to objaw załamywania się światła w przejściu z wody zimnej do gorącej. Podobne zjawiska dzieją się w atmosferze; są one powodem, że światło nie biegnie przez atmosferę dokładnie prostolinijnie; n. p. światło słońca pod koniec każdego dnia jeszcze przez niejaki czas nas dochodzi, chociaż słońce już zaszło i znajduje się pod widnokręgiem.

§ 204. Soczewka.

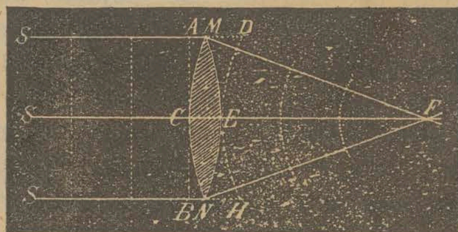
Weźmy t. zw. „szkło palące" czyli soczewkę wypukłą, wyrobioną ze szkła. (Soczewka wypukła jest to ciało o takiej *postaci*, jaką otrzymalibyśmy, złożywszy dwa szkiełka od zegarka wklęsłemi stronami do siebie). Jak wiadomo, szkło palące gromadzi promienie n. p. słoneczne *SSS* (rys. 160.) w jednem miejscu *F* t. zw. *ognisku* soczewki. Zbliżajmy do soczewki ćwiartkę papieru po stronie odwrotnej od słońca; w odległości *F* zobaczymy punkt bardzo jasny, w którym papier niebawem zwęgla się: zapałka tam umieszczona zapala się. A zatem w punkcie *F* skupią się nie tylko



Rys. 176.

światlne i cieplne objawy promieniowania słońca.

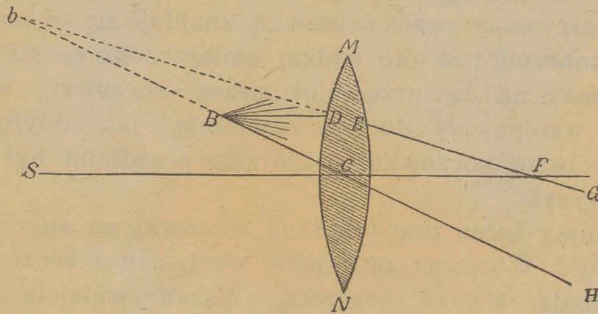
Co się tu dzieje? Wyobraźmy sobie wiązkę słonecznych promieni SA, SC, SB, padających na soczewkę, jak okazuje rysunek 177.- Promienie te uważamy za równoległe, ponieważ słońce znajduje się niezmiernie daleko. Na rysunku widzimy /kropkowane/ czoła wiązki padającej; jednem z tych czół jest ACB . Kiedy światło biegnące wzdłuż promienia SC doszło do C i wkracza do szkła, światło biegnące wzdłuż SA jest w A i posuwa się naprzód przez powietrze. Kiedy światło wzdłuż SC dojdzie do E, światło idące wzdłuż SA odbędzie drogę dłuższą i dojdzie np. do D. Łatwo więc zrozumieć, że czoło wiązki zakrzywi się; zamiast być płaskie, jak wprzódy, będzie wklęsłe ku F, jak DEH. Lecz skoro pierwsze czoło jest zakrzywione i wklęsłe ku F, przeto i następne (które na rysunku widzimy kropkowane) będą zakrzywione i wklęsłe ku F; innemi słowy światło od wszystkich części soczewki pójdzie ku F i skupi się w F, t. j. w „ognisku" soczewki.



Rys. 177.

§ 222. Obrazy pozorne.

Niechaj MN (rys. 178.) wyobraża soczewkę, której ognisko jest n. p. w F; C jest „środkiem" soczewki; płaszczyzna, idąca przez punkty M, C, N i prostopadła do linii SCF jest poprzecznem przecięciem soczewki sama zaś linia SCF jest *osią* soczewki. Przypuśćmy, że blisko soczewki, n. p. w miejscu B,



Rys. 178

znajduje się punkt, który wysyła światło. Z miejsca B rozchodzą się więc promienie na wszystkie strony; z pomiędzy tych promieni uważajmy dwa, mianowicie: 1) promień BD, równoległy do osi soczewki; 2) promień BC, skierowany ku środkowi soczewki. Pierwszy BD, po załamaniu się w soczewce,

170 214

przejdzie przez ognisko, zatem pójdzie jak EF na rys. 162; to nam już wiadomo z § 204-go. O drugim promieniu BC możemy powiedzieć, że pójdzie dalej w pierwotnym kierunku, zatem jak CH na rys. 162.; albowiem cząstka powierzchni, przez którą ten promień wchodzi do soczewki, oraz cząstka, przez którą z niej wychodzi, są równoległe do siebie; zatem część soczewki, przez którą promień BCH przebiega, jest dla niego jakby płytką o równoległych ściankach (§ 203.); reszta zaś soczewki nie wywiera wpływu na bieg tego promienia. Widzimy, że właściwie CH będzie linią, *równoległą* do BC, nieco względem niej przesuniętą; lecz to drobne przesunięcie zaniedbujemy na rysunku. A zatem promienie BD i BC pójdą za soczewką jako EFG i CH. Jeśli patrzymy od strony HG, promienie te sprawią na nas wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu b; albowiem przedłużamy bezwiednie GFE i HC aż do przecięcia się w b i przypisujemy promienie EFG i CH nieistniejącemu źródłu b, które wysyłałoby je rzeczywiście, gdyby znajdowało się w b rzeczywiście i gdyby soczewki wcale nie było. Tym sposobem powstaje w b „*obraz*" punktu B, utworzony przez soczewkę.

H 178-nym

Badając podobnie przebieg innych promieni, wychodzących z punktu B, dochodzimy również do tego samego pozornego ~~punktu~~ źródła b.

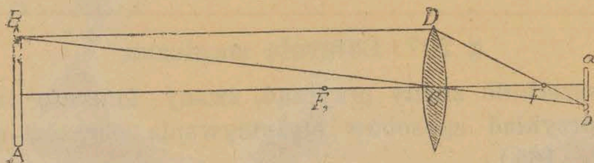
§ ~~206~~ 223. Obrazy rzeczywiste.

Przypuszczaliśmy w artykule poprzedzającym, że przedmiot, rozpatrywany przez soczewkę, znajduje się od niej w odległości nieznacznej i że oko widza, umieszczone ze strony przeciwnej, patrzy na ów przedmiot przez soczewkę nawskroś. Promienie wstępowały do oka *rozbieżnie*, jak gdyby obraz, utworzony przez soczewkę, a nie sam przedmiot był źródłem, które je wysyła.

Odsuńmy teraz przedmiot od soczewki na znacznie większą odległość. Wówczas promienie wychodzą z soczewki *zbieżnie*, przecinają się za soczewką. Wszak widzieliśmy w art. ~~204~~-ym, że promienie, idące od słońca, gdy padną na soczewkę i przejdą przez nią, zbierają się w jednym punkcie, mianowicie w ognisku jej F. Uważajmy ~~n. p.~~ jakibądź duży przedmiot AB (rys. ~~163~~ 179.) (n. p. świecę zapaloną) i umieśćmy go, jak na rys. ~~163~~ 179-im, daleko od soczewki, mianowicie dalej, niż ognisko jej F_1. Jak w art. ~~222~~ 221. prowadzimy promień BD, równoległy do osi, oraz promień BC przez środek soczewki C. Po przejściu

H 221

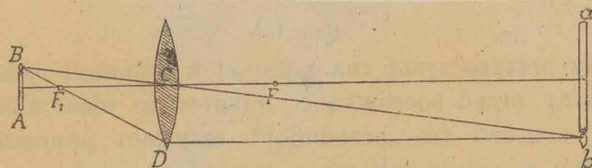
przez soczewkę, promienie te przecinają się teraz w punkcie b. W podobny sposób biegną i przecinają się inne promienie, pochodzące od innych punktów przedmiotu AB. Widzimy, że



Rys. ~~163~~ 179

w ab powstanie *mały i odwrócony* obraz przedmiotu AB; widzimy zarazem, że powstanie on skutkiem istotnego przecinania się promieni. Gdybyśmy umieścili za soczewką, w odległości odpowiedniej, kartę białego papieru albo szkło matowe, dostrzeglibyśmy rysujący się tam maleńki, odwrócony obraz świecy. Obraz przeto ab nazywamy *rzeczywistym*.

Uważajmy powtóre przedmiot drobny AB (rys. ~~164~~ 180), który znajduje się znacznie bliżej soczewki, niż przedmiot poprzedni, n. p. ~~kiłk~~ AB na rys. ~~1~~80, zatem niewiele dalej, aniżeli ognisko soczewki F_1. Widzimy natychmiast, że obecny



Rys. 180.

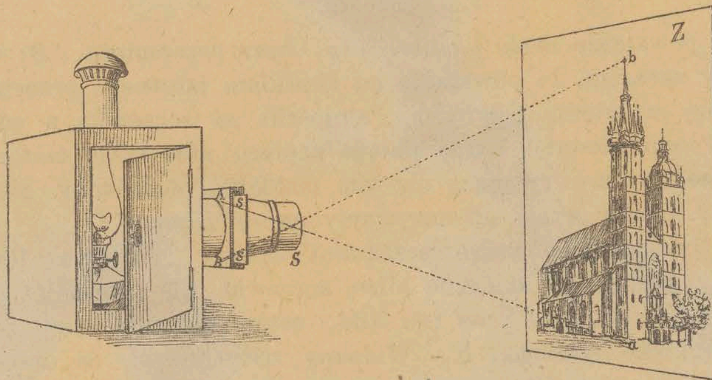
przypadek jest niejako odwróceniem poprzedniego. Rozumując w znany już sposób, dochodzimy do wniosku, że drobny przedmiot AB daje tutaj obraz ab, znacznie *większy* od samego przedmiotu i *odwrócony*.

Ilekroć razy przedmiot jest ustawiony w większej odległości od soczewki, aniżeli jej ognisko, tylekroć razy utworzy się po przeciwnej stronie soczewki obraz *rzeczywisty*, zawsze *odwrócony*. Powiadamy przytem: obraz jest *zmniejszony*, jeśli przedmiot jest odległy; *powiększony*, gdy ustawiamy przedmiot blizko ogniska.

Przeciwnie, ilekroć razy przedmiot jest ustawiony w mniejszej odległości od soczewki, aniżeli własne jej ognisko, tylekroć razy, jak widzieliśmy wyżej (§ 205), tworzy się obraz *pozorny*, położony po tej samej stronie soczewki, po której znajduje się przedmiot.

§ 224 Latarnia magiczna.

Powszechnie znany przyrząd, zwany *latarnią magiczną*, stanowi przykład sposobów otrzymywania obrazów rzeczywistych (rys. 181.).

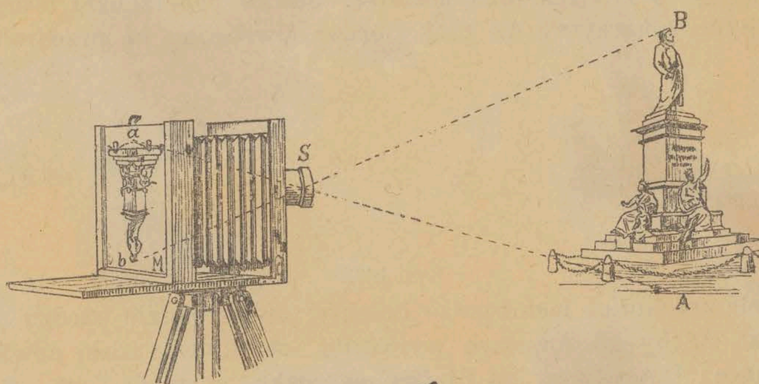


Rys. 181.

Mały przeźroczysty (na szkle *ss* wykonany) rysunek AB, umieszczony przed soczewką S, mianowicie nieco dalej, niż jej ognisko, stanowi tu „przedmiot" artykułu poprzedzającego. Oświetlamy go silnie zapomocą lampy, ukrytej wewnątrz latarni. Mamy tu oczywiście przypadek ten sam, jak poprzednio na rys. 164-ym. Włożywszy rysunek w położeniu *odwróconem*, widzimy wówczas na zasłonie Z obraz rzeczywisty, powiększony tego rysunku w położeniu właściwem.

§ 225. O fotografii.

Przyrząd fotograficzny jest ciemnią optyczną /zob. § 206/, której przednia ścianka jest zaopatrzona w soczewkę S /rys.182/; ściankę tylną, umieszczoną naprzeciwko soczewki, stanowi, jak w zwykłej ciemni, szyba szklana matowa M. Mamy tu przypadek rys.179-go w § 223-im. Przedmiotem jest odległy pomnik AB, pewien krajobraz, osoba, cokolwiekbądź wreszcie, co z daleka przysyła lub odbija świetlne promienie. Na szybie matowej tworzy się obraz rzeczywisty, zmniejszony i odwrócony przedmiotu. Obraz ów utrwalić — jest zadaniem fotografii. Wysunąwszy szybę matową, (która służyła do obejrzenia obrazu), wstawiamy na jej miejsce t. zw. *kliszę* czyli szklaną płytkę, na której znajduje się cienka warstewka *żelatyny* (rodzaju kleju), zmieszanej z bromkiem srebrowym. Pod wpływem światła ciało to rozkłada się, wydzielając ciemny proszek; tym sposobem w najbardziej jasnych miejscach obrazu otrzymamy najsilniejsze



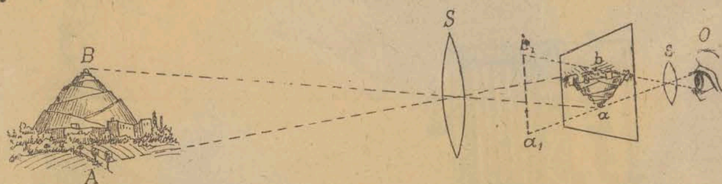
Rys. 182.

przyciemnienie czyli zczernienie na kliszy, w miejscach zaś stosunkowo ciemnych (n. p. ubranie czarne, ciemne włosy i t. p.) bromek srebrowy, zmieni się bardzo mało i pozostanie tam przeźroczysty. Otrzymamy zatem t. zw. *negatywę* czyli rysunek *ujemny*, w którym cienie i światła rozłożone są wprost przeciwnie, niż w rzeczywistości. Mając taką negatywę, trzeba uczynić ją nieczułą na dalsze działanie światła, co uskuteczniamy przez wypłukanie niezmienionego bromku srebrowego. Z *utrwalonej* tym sposobem kliszy (negatywy) możemy zdjąć dowolną liczbę *kopji* czyli *pozytyw* (rysunków dodatnich). W tym celu podkładamy pod kliszę kartkę papieru do kopjowania czyli fotograficznego. Jest to papier zwyczajny, na którym rozprowadzono znów cienką warstewkę połączeń srebrowych, czerniejącą pod działaniem światła. Pod jasnemi, przeźroczystemi częściami negatywy papier zczernieje, nie zmieni się natomiast pod miejscami czarnemi i nieprzyźroczystemi; otrzymamy więc na papierze rysunek dodatni, (w którym cienie i światła rozłożone są tak samo, jak w rzeczywistości),

i trzeba będzie tylko *utrwalić* ten rysunek, (podobnie jak poprzednio utrwaliliśmy kliszę), ażeby uzyskać skończoną *fotografię*.

§ 206. Luneta.

Dużą soczewkę wypukłą S (rys. 167.) zwróćmy ku jakiemukolwiek odległemu przedmiotowi, jak n. p. kopiec, budynek, księżyc na niebie i t. p. Ustawmy za soczewką, blizko jej ogniska, płytkę szklaną matową. Jak w przyrządzie fotograficznym, zobaczymy na niej obraz odwrócony ab przedmiotu.



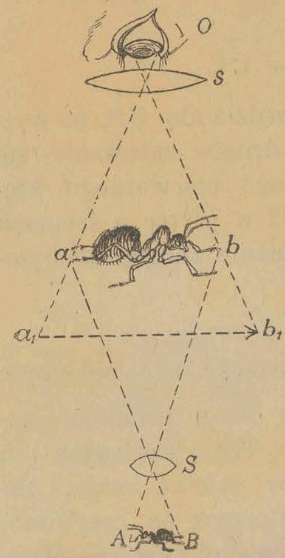
Rys. 167.

Jeżeli przedmiot jest bardzo odległy, obraz będzie bardzo małutki. Ażeby go zobaczyć wyraźniej, stosujemy szkło powiększające. Ustawiwszy za płytką soczewkę s, małą, ale silnie powiększającą, a tuż za nią umieściwszy oko (O), zobaczymy powiększony obraz a_1 b_1 obrazu pierwotnego ab (por. § 205.). Ale płytka matowa jest teraz oczywiście zbyteczną. Usunąwszy ją, będziemy wciąż jeszcze widzieli powiększony obraz a_1 b_1 obrazu rzeczywistego ab, a nawet będziemy go widzieli lepiej, ponieważ płyta zabierała dość dużo światła. Promienie idą teraz wprost od soczewki dużej S do małej s, przecinają się, jak i poprzednio, w punktach a, b i t. d. i dają tam obraz rzeczywisty, który jednak tworzy się teraz *w powietrzu* tak, iż nie zobaczyliśmy go, patrząc z boku. Patrząc zaś wprost, w kierunku promieni, przy pomocy szkła powiększającego s, dostrzegamy go jako obraz a_1 b_1 (rys. 167.).

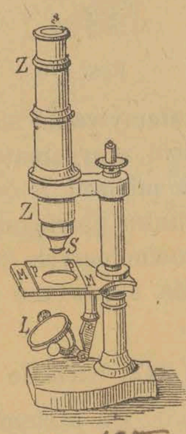
Dwie soczewki podobne, duża S i mała s (silnie powiększająca), zamknięte w oprawę czyli rurę metalową, stanowią przyrząd, zwany *lunetą*. W obrazie, utworzonym przez lunetę, odróżniamy z łatwością szczegóły przedmiotu, które bez jej pomocy byłyby niedostrzegalne. Astronomom luneta oddaje nieocenione usługi, pozwalając oglądać dokładnie szczegóły powierzchni ciał niebieskich, jak słońce, księżyc, planety; jednakże gwiazdy t. zw. „*stałe*“ są tak niezmiernie od ziemi odległe (por. § 102.), że obrazy ich nawet w najsilniejszych lunetach (t. zw. *teleskopach*) rysują się li tylko jako punkty świecące.

§ 227. Mikroskop.

Weźmy soczewkę maleńką S, możliwie silnie wypukłą (rys. 184 u dołu). Umieśćmy przed nią jakiekolwiek ciało bardzo drobne, n. p. robaczka AB, cokolwiek dalej od soczewki, aniżeli jej ognisko. Wiemy z art. 203-go, że soczewka utworzy w takich warunkach, po stronie przeciwnej, obraz rzeczywisty ab, odwrócony i silnie powiększony. Lecz i ten obraz, pomimo owego powiększenia, będzie zazwyczaj jeszcze bardzo mały. Zatem, podobnie jak w artykule poprzedzającym, zastosujmy drugą soczewkę s (rys. 184 u góry), jako szkło powiększające, do oglądania obrazu. Otrzymamy wówczas obraz pozorny a_1 b_1, znacznie powiększony. *Mikroskop* (czyli przyrząd, służący do oglądania nader drobnych przedmiotów) składa się właśnie z takich dwóch soczewek; jednej maleńkiej, lecz silnie wypukłej, i z drugiej, działającej jako szkło powiększające. Obie soczewki mieszczą się w oprawie czyli rurce metalowej ZZ (rys. 185.); przedmiot oglądany kładziemy na płytce szklanej pp, tę zaś znowu na stoliku MM, mającym otwór w środku. Lusterko L, umieszczone pod otworem, oświetla przedmiot od dołu.



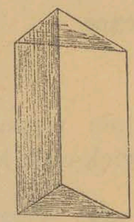
Rys. 184.

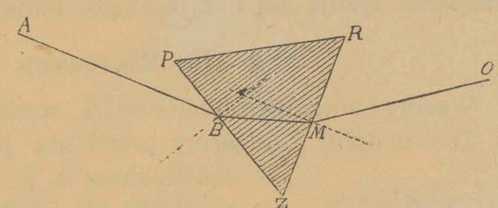


Rys. 185.

§ 228. Pryzmat.

Weźmy pryzmat (czyli graniastosłup trójkątny), wyrobiony ze szkła, jak widzimy na rys. 186-ym. Wyobraźmy sobie, że na jedną ze ścian pryzmatu, które mają postać prostokątów, pada promień światła; n. p. na rys. 187-ym promień OM na ścianę RZ. Zbudujmy dalszą drogę promienia według praw


Rys. 170.

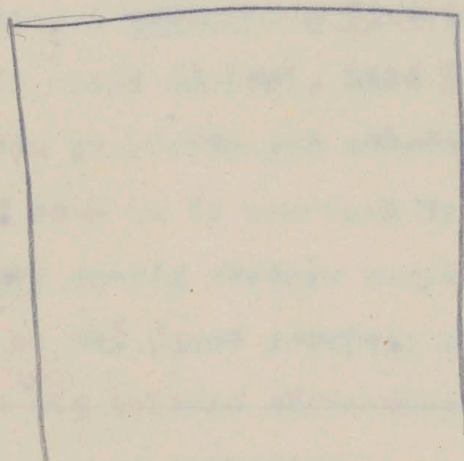


Rys. 187.

załamywania się światła: W pryzmacie będzie nią MB, po wyjściu z pryzmatu będzie nią AB. Przez drugie załamanie się w miejscu B odchylenie promienia od jego pierwotnego kierunku powiększa się jeszcze; inaczej niż w płytce o ścianach równoległych (§ 209), gdzie drugie załamanie znosiło odchylenie, sprawione przez pierwsze.

§ 229. Światło niebieski ma inną łamliwość niż czerwone

Do następnych doświadczeń może nam posłużyć przyrząd, opisany w § 212-ym. Do tylnej ścianki tego przyrządu przytwierdzamy szklany pryzmat /rys.188/; zastawiamy następnie otwór szczeliny s tafelką szkła zabarwionego na czerwono i wpuszczamy tamtędy wiązkę promieni, pochodzącego z lampy łukowej lub innego silnego źródła światła.



Rys. 188

Otrzymamy tym sposobem wiązkę czerwonych promieni, które załamując się w pryzmacie, dają obraz czerwony C na obwodzie pudełka. Nie zmieniając położenia ani przyrządu ani źródła światła, zasłaniamy teraz otwór szkłem niebieskiem. Promienie niebieskie dają obraz niebieski N na obwodzie pudełka nie w tem samem miejscu, w którem tworzył się czerwony, lecz w innem. Światło niebieskie załamuje się w pryzmacie bardziej, aniżeli czerwone.

Różną łamliwość niebieskich i czerwonych promieni można okazać w następujący prosty sposób: Na kawałku tektury naklejamy dwa paski, jeden czerwony, drugi niebieski tak, żeby jeden leżał w prostem przedłużeniu drugiego. Patrząc na paski przez pryzmat szklany (lub lepiej przez naczynie szklane w kształcie pryzmatu, wypełnione dwusiarczkiem węgla), zobaczymy, że wydają się położone tak, jak gdyby nie stanowiły prostej linii.

§ 230. Widmo.

W sposób opisany w artykule poprzednim rzucamy na pryzmat światło słoneczne; albo też światło, pochodzące z silnej lampy /łukowej/; wogóle mówiąc jakiekolwiek

światło, które w mowie potocznej nazywamy światłem białem. Widzimy wówczas na obwodzie przyrządu szereg barwnych obrazów. Dostrzegamy obraz czerwony, który przechodzi w pomarańczowy; ten przechodzi w żółty, dalej w zielony, w niebieski, w błękitny i nakoniec w fjoletowy. Jest tam właśnie niezmiernie wiele odcieni, lecz byłoby trudno wymienić więcej niż siedm przytoczonych zabarwień; przynajmniej w mowie potocznej brak na to utartych wyrażeń.

Taki szereg obrazów nazywa się widmem. Przypomina on tęczę, bo też tęcza powstaje w sposób podobny, dzięki załamywaniu się światła słonecznego w drobnych kropelkach wody, zawieszonych w powietrzu.

§ 231. Promienie niewidzialne.

Słońce nie tylko świece, ale również grzeje. Wprowadźmy czuły termometr do widma słonecznego; przekonamy się, że promienie różnych barw grzeją, lecz promienie czerwone grzeją bardziej niż...

~~n. p.~~ niebieskie. Gdybyśmy użyli pryzmatu, wyrobionego z soli kamiennej, zamiast pryzmatu szklanego, *zobaczylibyśmy* widmo podobnie, jak poprzednio, ale moglibyśmy dowieść, że jakieś *niewidzialne promienie padają i poza jego końcem czerwonym*, tam, gdzie nie widzimy już światła; albowiem termometr ogrzewałby się tam nawet bardziej, niż w widmie widzialnem. Promienie, które padają poza czerwony koniec widma, nazywają się „pozaczerwonymi". Mają one widocznie łamliwość jeszcze mniejszą, niż promienie czerwone; na oko nie działają, ale działają na termometr. Weźmy dalej pasemko bibuły, napojonej roztworem azotanu srebrowego (lapisu); bibuła taka czernieje na słońcu. Czernieje ona również w różnych częściach widma słonecznego, w fioletowej prędzej, niż n. p. w zielonej; ale czernieje też i *poza* fioletowym końcem widma, gdzie nie widzimy już światła, a nawet czernieje tam prędzej, niż w widmie widzialnem. Z tego wszystkiego widzimy, że *światło jest tylko jednym ze skutków*, jakie sprawiać mogą promienie słoneczne.

Rozgrzany kawałek żelaza wysyła podobnież rozmaite promienie. Gdy jeszcze nie jest bardzo znacznie ogrzany, wysyła tylko pozaczerwone promienie, grzejące, lecz nie świecące; powiadamy wówczas, że żelazo promieniuje ciepło, ale nie świeci. W temperaturze wyższej żelazo wysyła coraz nowe promienie. Jeśli wysyła promienie czerwone, mówimy: „żelazo jest rozgrzane do czerwoności". Skoro wysyła nie tylko czerwone lecz i wszelkie inne promienie, powiadamy wówczas, że jest „rozgrzane do białości".

177.
221

232

§ 215. Barwa jest tem dla światła, czem wysokość dla dźwięku.

Gdy na sekundę udzielamy powietrzu około trzydziestu regularnie powtarzających się wstrząśnień, wówczas, jak wiadomo z § 104-go, *zaczynamy słyszeć;* słyszymy mianowicie pewien dźwięk bardzo nizki. Udzielajmy wstrząśnień kilka tysięcy w ciągu sekundy, a usłyszymy dźwięk pewien *wysoki;* udzielajmy ich więcej (w tym samym czasie jednej sekundy), a dźwięk stanie się wyższy i wyższy i nareszcie *przestaniemy go słyszeć.*

We własnościach promieni słonecznych znajdujemy teraz podobne stosunki. Promienie o łamliwości małej istnieją, chociaż ich nie widzimy; moglibyśmy o nich powiedzieć, że stanowią „ciemne światło". Gdy łamliwość promieni jest taka, jaką mają promienie czerwone, *zaczynamy widzieć;* widzimy mianowicie barwę czerwoną. Gdy łamliwość coraz jest większa, widzimy dalsze barwy; gdy staje się taka, jaką mają fioletowe promienie, jeszcze widzimy, ale zaraz dalej *przestajemy widzieć.* A zatem *barwa* jest czemś takiem dla *światła,* czem jest dla *dźwięku* jego *wysokość.*

Fakt
H własności

§ 216. 233 Promieniowanie.

Powiadamy więc teraz poprawniej: Od słońca, od gwiazd, od płomieni i od ciał ogrzanych rozbiega się na wszystkie strony z niezmierną prędkością *promieniowanie.* Część tego promieniowania, jeśli trafi pośrednio czy bezpośrednio do oka, stanie się widzialna; a więc będzie tem, co nazywamy *światłem.* Lecz wszelkie promieniowanie, jeśli w jakiembądź ciele zatrzyma się choć w części, jeśli nie przejdzie przez nie całkowicie na wskróś zamieni się zaraz na ciepło lub wzbudzi działanie chemiczne. Ciepło jest pewnym rodzajem energii; budzenie działań chemicznych jest też gromadzeniem energii. Więc *promieniowanie* jest *szczególnego rodzaju energią,* która może płynąć z niezmierną prędkością przez powietrze, przez wodę, przez szkło, przez puste pomiędzy gwiazdami przestworza lub też przez ciała gęste i zbite.

ze sobą niesie

ZAKOŃCZENIE.

§ ~~217~~ 234. O materyi.

Przypuśćmy, że stół jest z dębiny, szafa z olszyny, a deska z sośniny. Powiadamy, że dębina, olszyna, sośnina — to różne gatunki *drewna*. Co znaczy więc „drewno“? „Drewno“ nie oznacza ani dębowego, ani bukowego, ani topolowego drewna, ani żadnego innego określonego gatunku; mówiąc „drewno“, mamy na myśli *którykolwiekbądź* z pomiędzy różnych jego gatunków. Widocznie to, co chcemy powiedzieć o „drewnie“, stosuje się zarówno do wszystkich jego gatunków.

Podobnie mówimy, że n. p. gwóźdź i hak są z żelaza, że grosz i rondelek są z miedzi, że tu mamy kawałek węgla, tam kawałek siarki lub kroplę rtęci. Powiadamy, że rtęć, siarka, węgiel, miedź i żelazo są to różne gatunki albo rodzaje *materyi*. Co więc znaczy „materya“? Nie oznacza ona rtęci, ani siarki, węgla, żelaza i miedzi, ani żadnego innego określonego gatunku materyi. Mówiąc „materya“, mamy na myśli *którykolwiekbądź* z pomiędzy jej różnych gatunków. Widocznie to, co chcemy powiedzieć o „materyi“, stosuje się zarówno do wszystkich gatunków materyi. Albowiem, jak widzieliśmy, bardzo wiele prawd naukowych stosuje się zarówno do żelaza, do rtęci, do powietrza, do wody, do wszystkich (jednem słowem) gatunków materyi; więc powiadamy, że te prawdy naukowe, czyli prawa, stosują się wogóle do *materyi*.

§ ~~218~~ 235. O energii.

Z codziennego doświadczenia znamy różne rodzaje materyi; w nauce Fizyki zaś poznaliśmy rozmaite rodzaje *energii*. Przekonaliśmy się (w rozdziale I.), że ciężar podniesiony ma pewnego rodzaju energię; że sprężyna skręcona i rzucony kamień mają ~~pewnego rodzaju~~ energię. Kula wystrzelona z armaty, ma energię, ponieważ porusza się i ma masę. Podobnie ziemia ma olbrzymią energię, ponieważ porusza się i ponieważ, powtóre, słońce ją przyciąga. Wiemy (z rozdziału II.), że słup wody ma pewną energię i że ma ją podobnie słup atmosferycznego powietrza; że powietrze i woda mogą przenosić i w różne strony rozprowadzać energię. Przekonaliśmy się (w rozdziale III.), że ~~woda~~ falująca ma energię i że ma ją podobnie powietrze, w którem rozchodzi się głos. W rozdziale IV. widzieliśmy, że ciepło nie jest czem innem, jak pewnym rodzajem energii. Poznaliśmy (w rozdziale V.) prąd elektryczny, który powstaje z energii i ma też dlatego energię. Nakoniec w rozdziale ostatnim mówiliśmy o promieniowaniu, ~~jako o szczególnym rodzaju energii, mogącym biedz z niezmierną prędkością przez materyę zarówno, jak przez próżnię. A więc odnajdywaliśmy wszędzie rozmaite rodzaje zawsze tej samej, jedynej energii.~~

iż przynosi ze sobą szczególnego rodzaju energję, która może biedz z niezmierną prędkością przez ciała materjalne zarówno jak przez próżnię.

Odnajdywaliśmy zatem w rozmaitych zjawiskach różne przykłady i rodzaje energji, czyli zasobów pracy mniej albo bardziej ukrytych, które wszechświat w sobie zawiera i mieści.

Dalej następuje Spis rzeczy.

180

Odbitki klisz do —

Nowe Rys

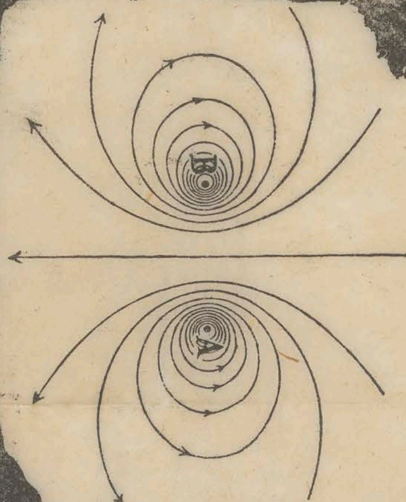
J. Wielmożny Pan Prof. Dr M. Rudzki

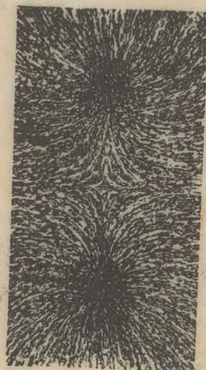
Retour Natanson

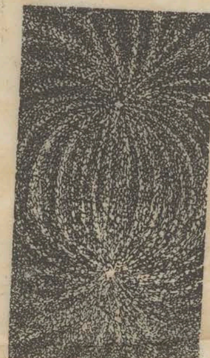
Ulica Biskupia, 8, parter

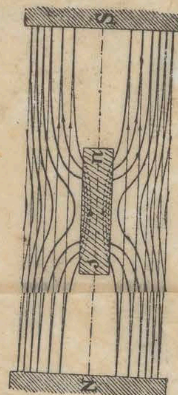
Odbitki z klisz do
Nowej Fizyki (Natanson zabrał)

Odpisy

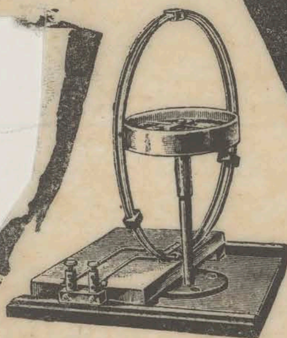


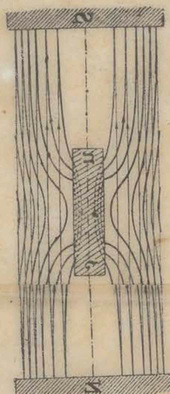




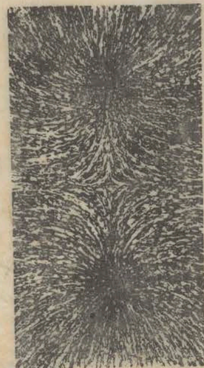


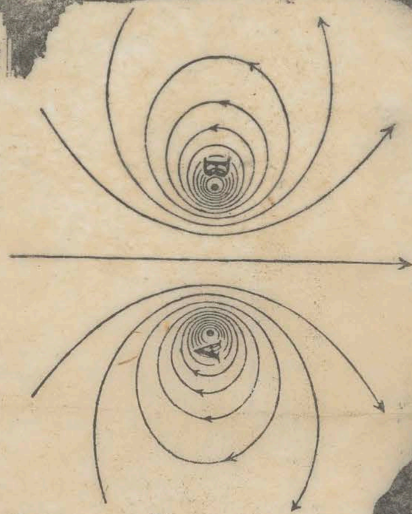
Die Beutung der gestrichelten Kurven wird im folgenden

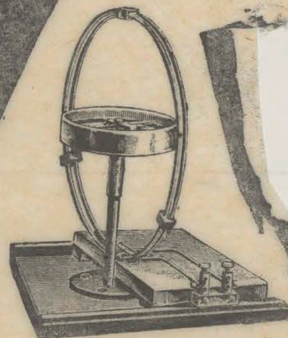


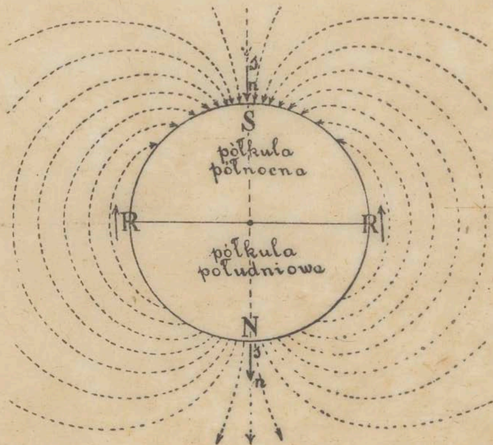




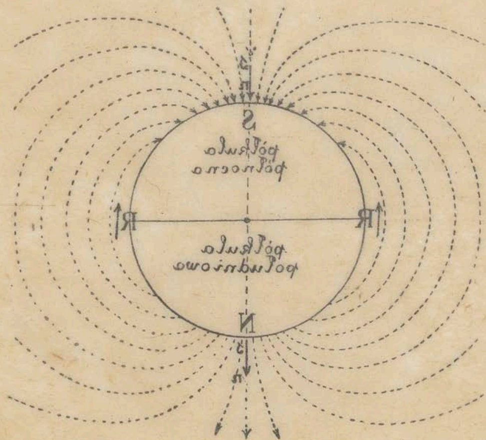


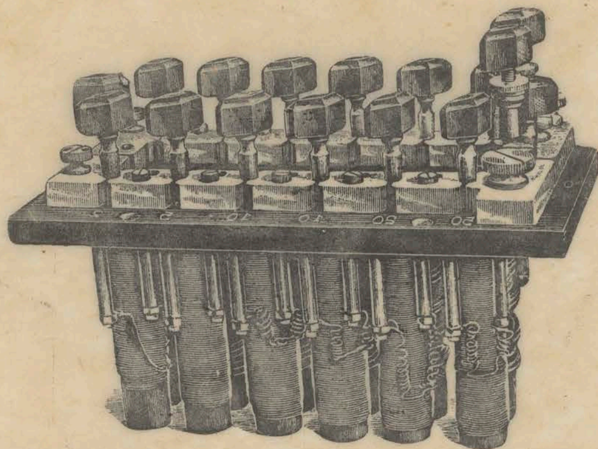


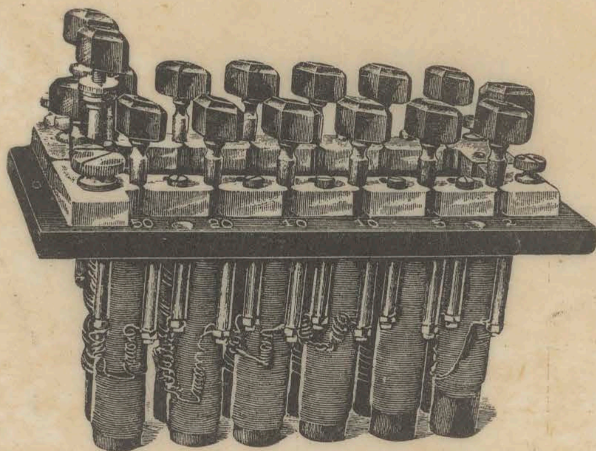



n
S
półkula
północna
R
R
półkula
południowa
N
n

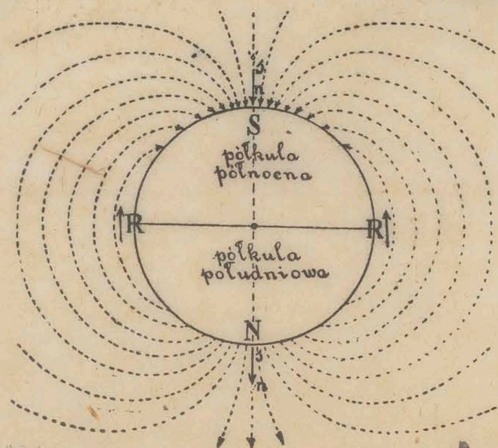
182

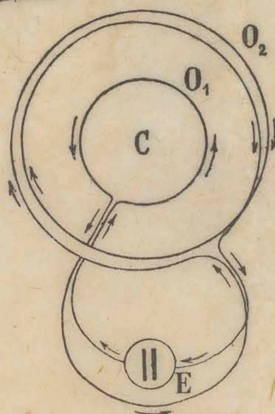


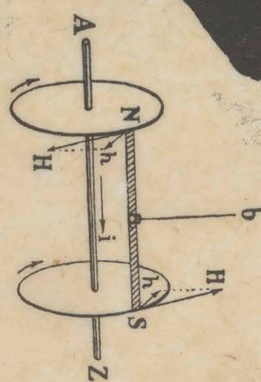


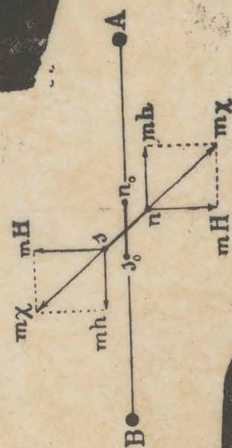


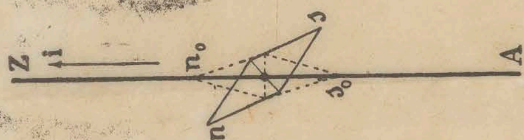
50
20
10
10
5
2

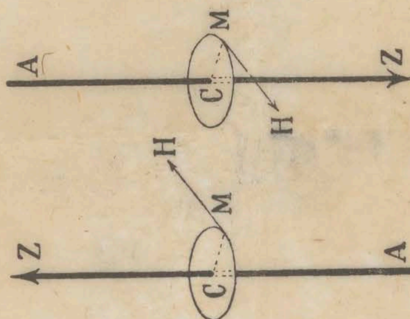

S
półkula
północna
R
R
półkula
południowa
N

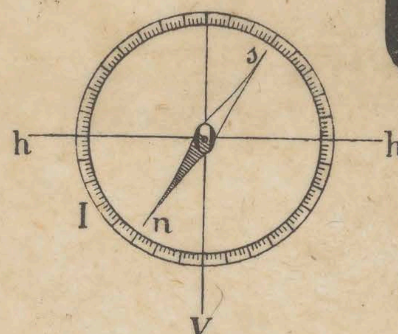

O₂
O₁
C
E

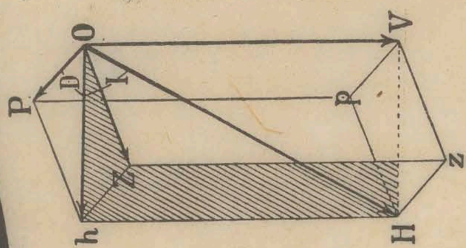


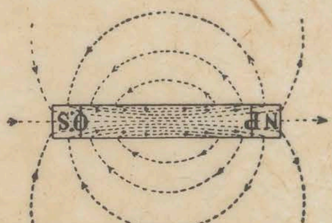


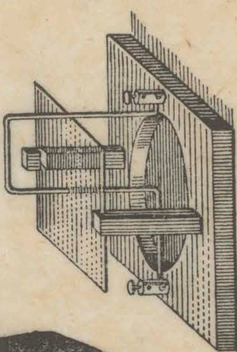


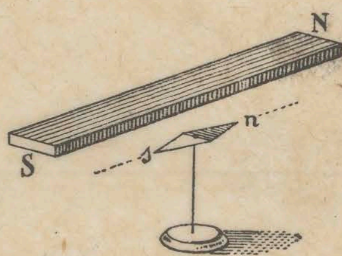


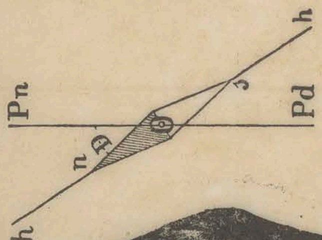

h
h
I
n
V

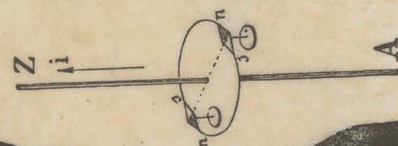


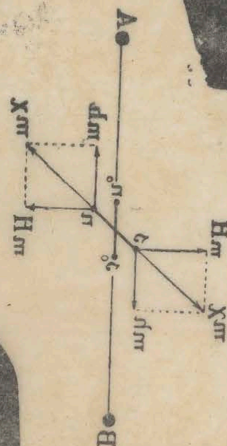
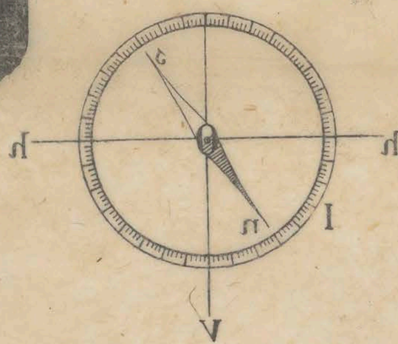
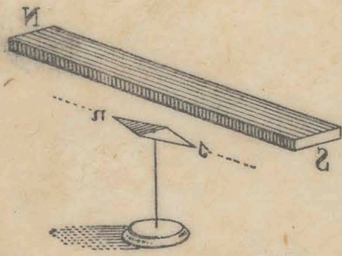
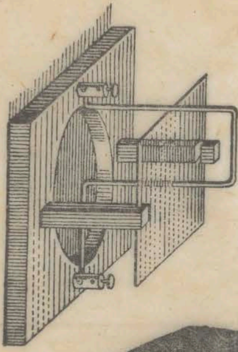
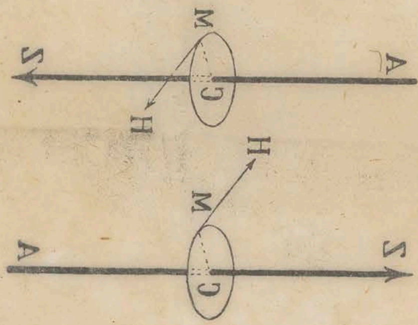
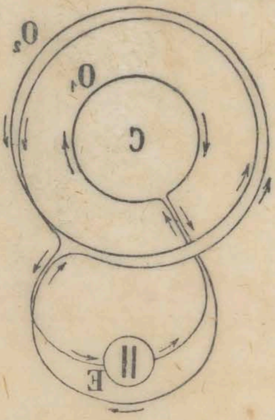
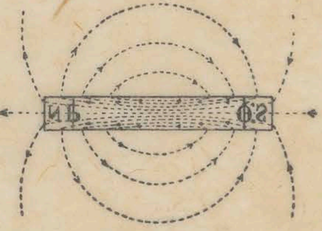
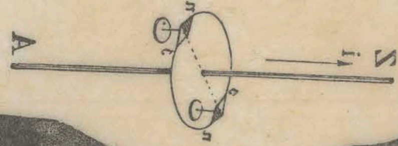
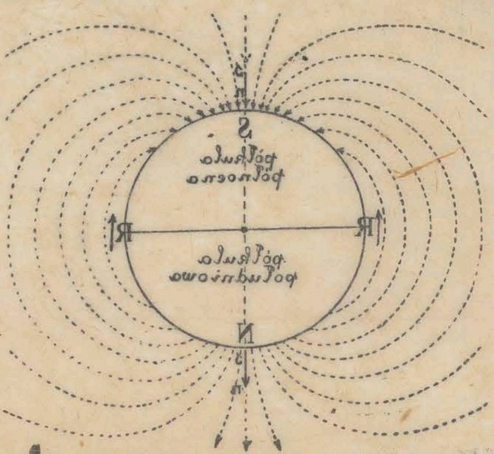
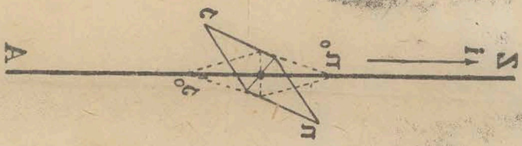
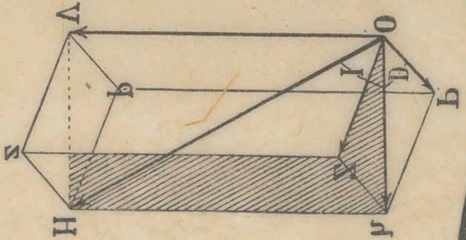
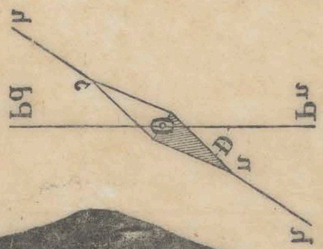




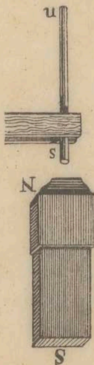

N
S
n

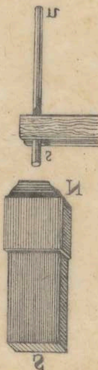




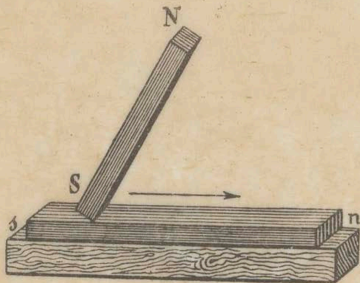









półkula północna
półkula południowa




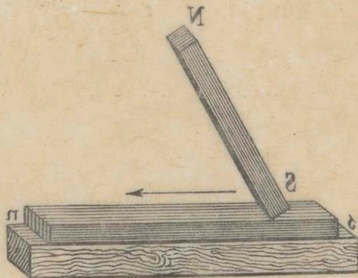
185



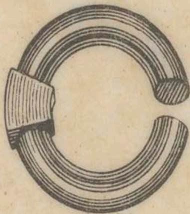

n
s
N
S

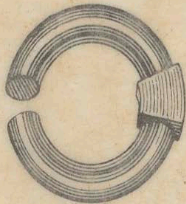
186



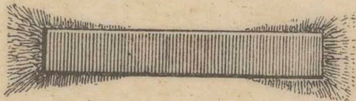

N
S
n
s

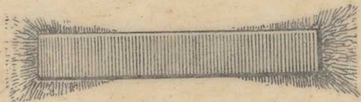
187





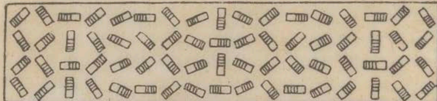
188



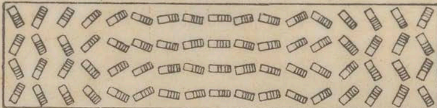


189

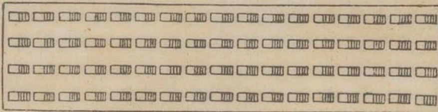
A

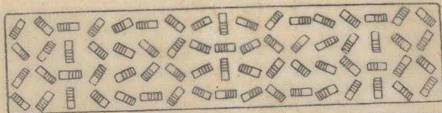


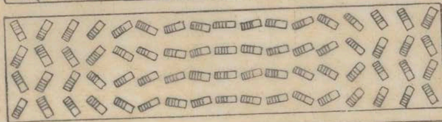
B

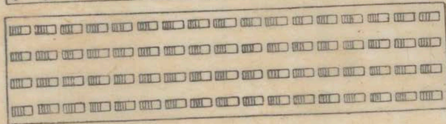


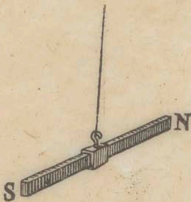
C

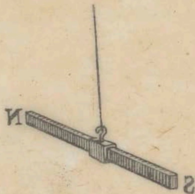


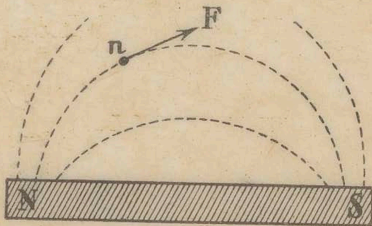

A

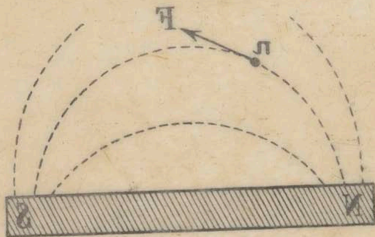

B


C

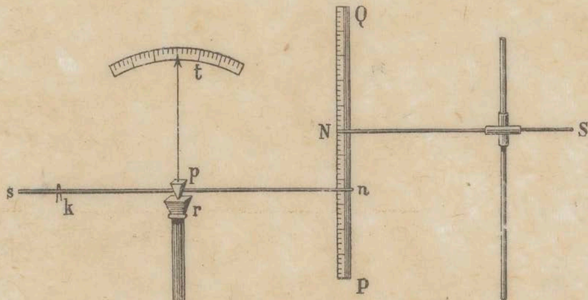

N
S

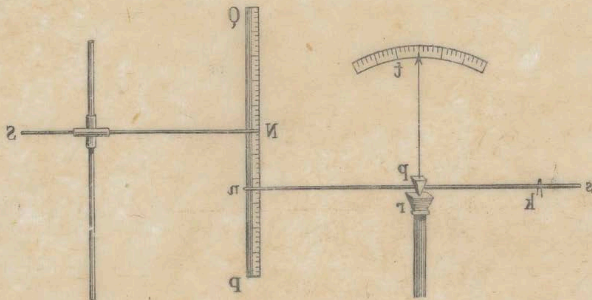

N
S

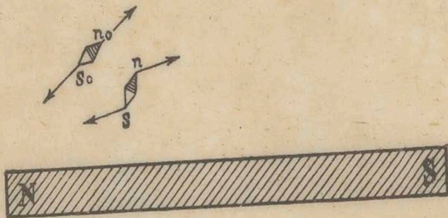

F
n
N
S

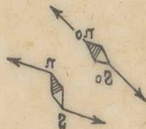


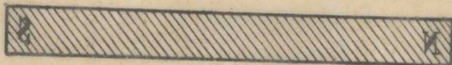
192



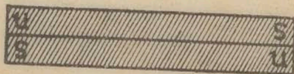


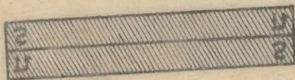

n_0
S_0
n
S
N
S

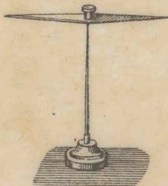


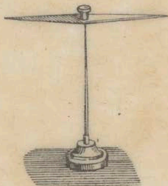


194

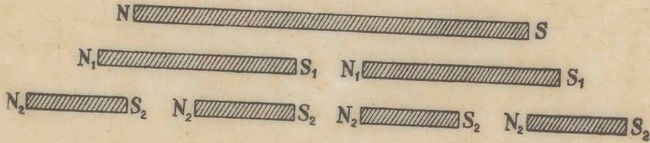


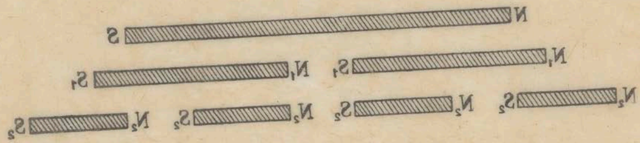




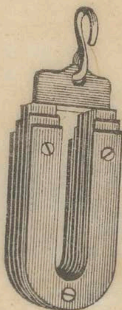


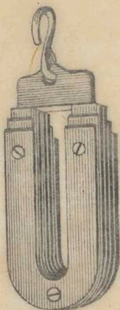
196



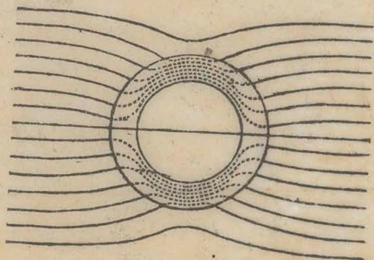

S
N
S1
N1
S1
N1
S2
N2
S2
N2
S2
N2
S2
N2

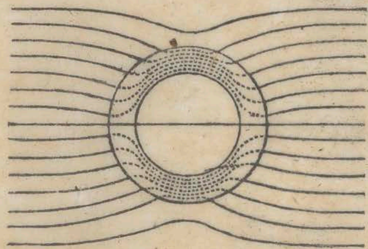
197



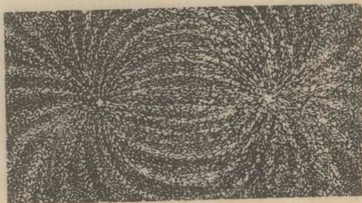


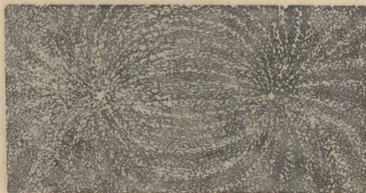
198

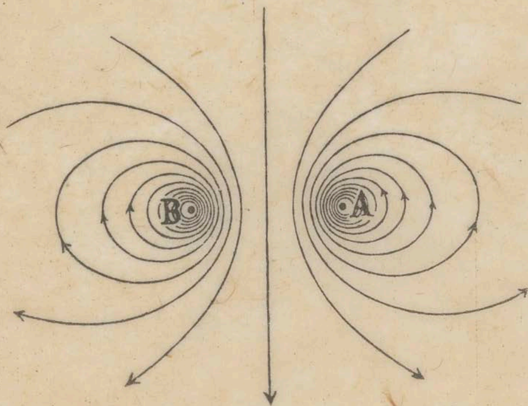


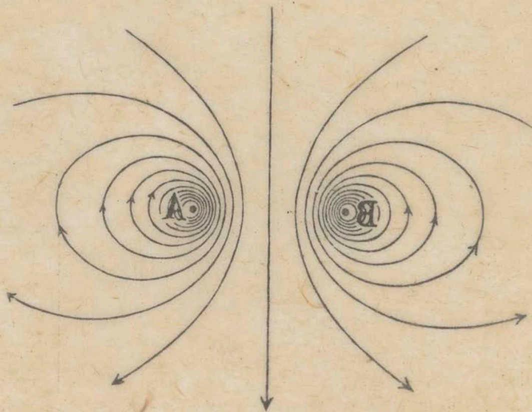


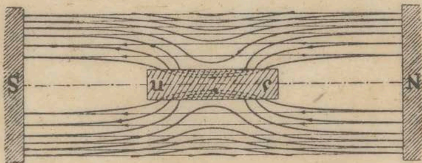
199

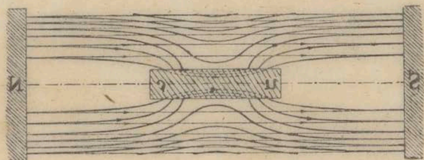




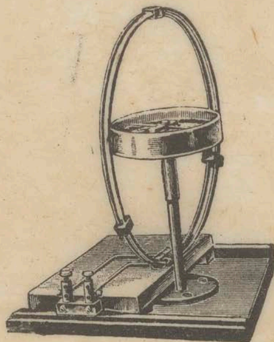

B
A

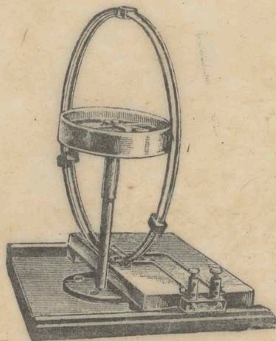

A
B

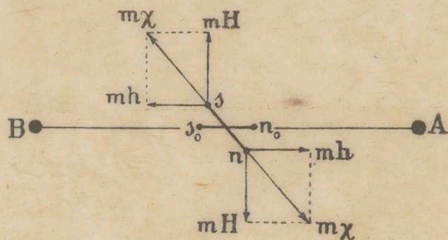

S
N

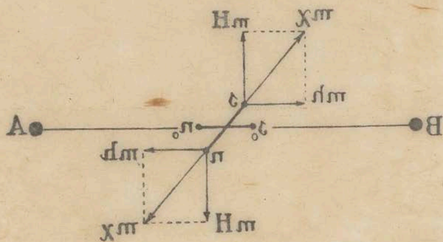

N
S

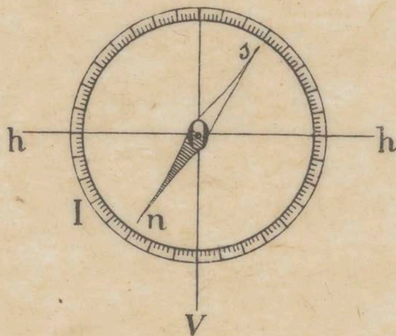
202

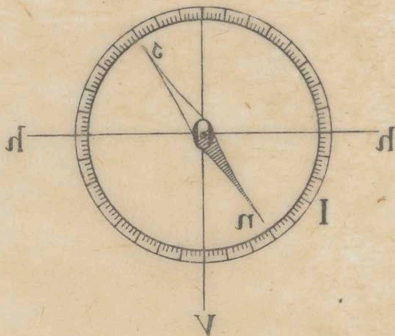


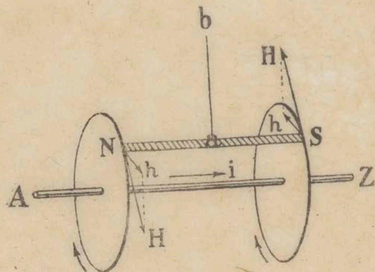


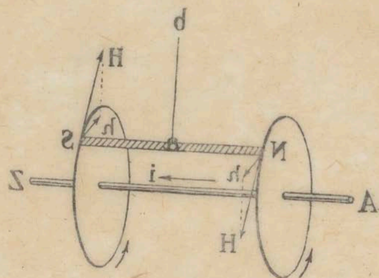

mχ
mH
mh
s
B
s_0
n_0
A
n
mh
mH
mχ


A
B

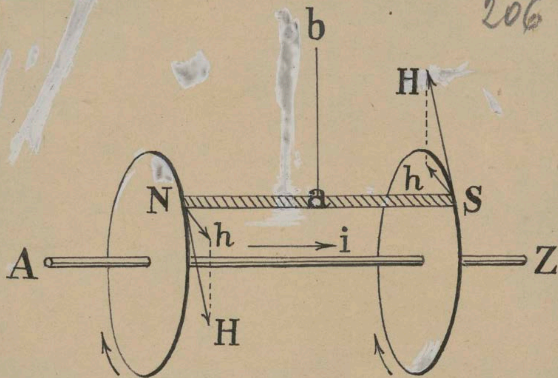

s
h
h
I
n
V



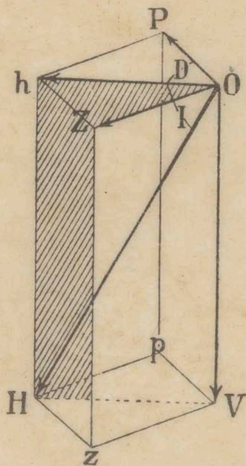

b
H
h
N
S
h
i
A
Z
H

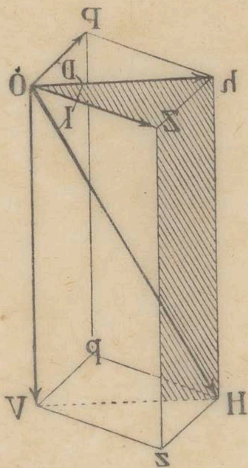

H
S
N
Z
i
A
H

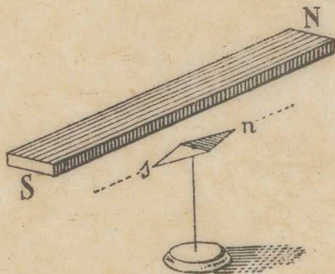
206



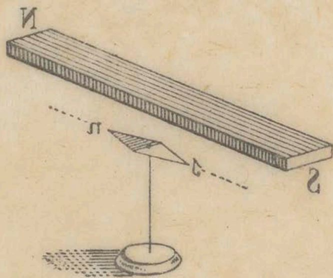
Rys. 2/3


P
h
D
O
Z
I
p
H
V
z

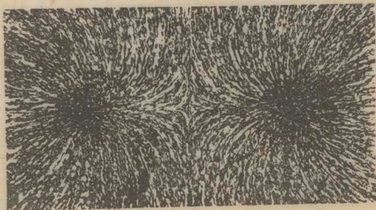


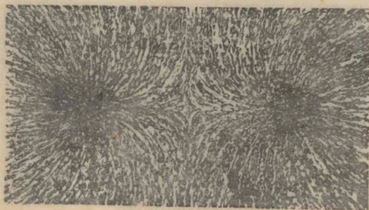

N
n
s
S

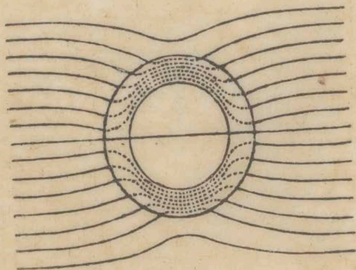
208

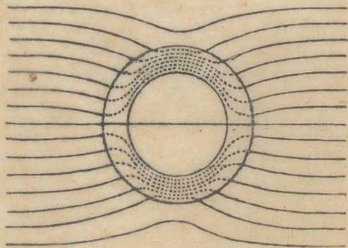


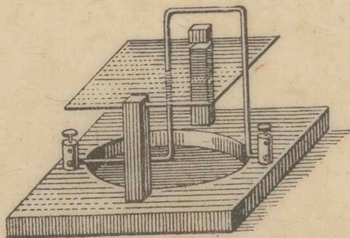
209

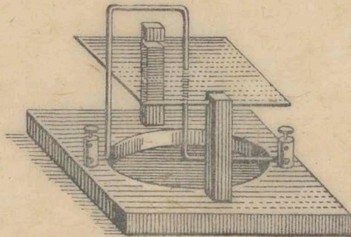


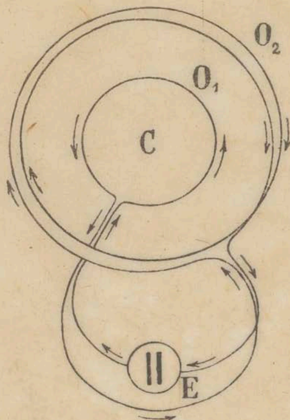


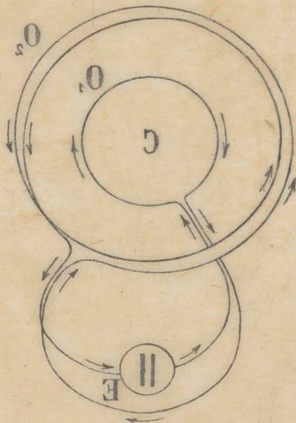


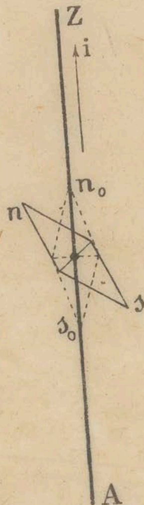




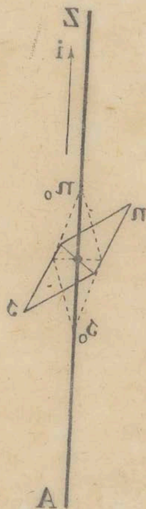


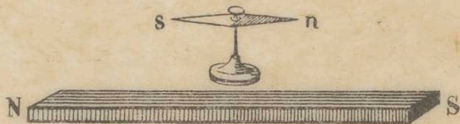

O2
O1
C
E


O2
O1
C
E

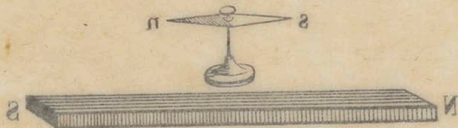


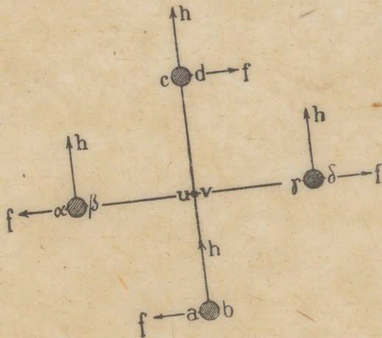
Z
i
n₀
n
s
s₀
A

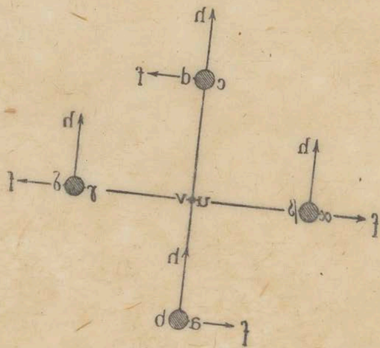



s
n
N
S

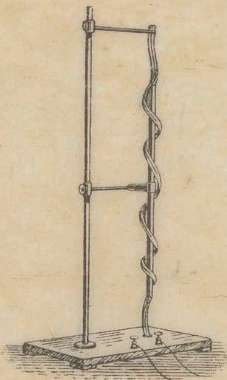
214

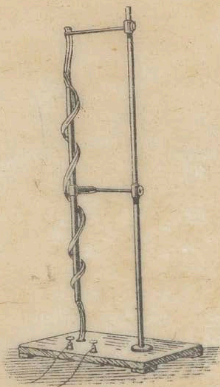



h
c
d
f
h
h
α
β
u
v
γ
δ
f
f
h
f
a
b

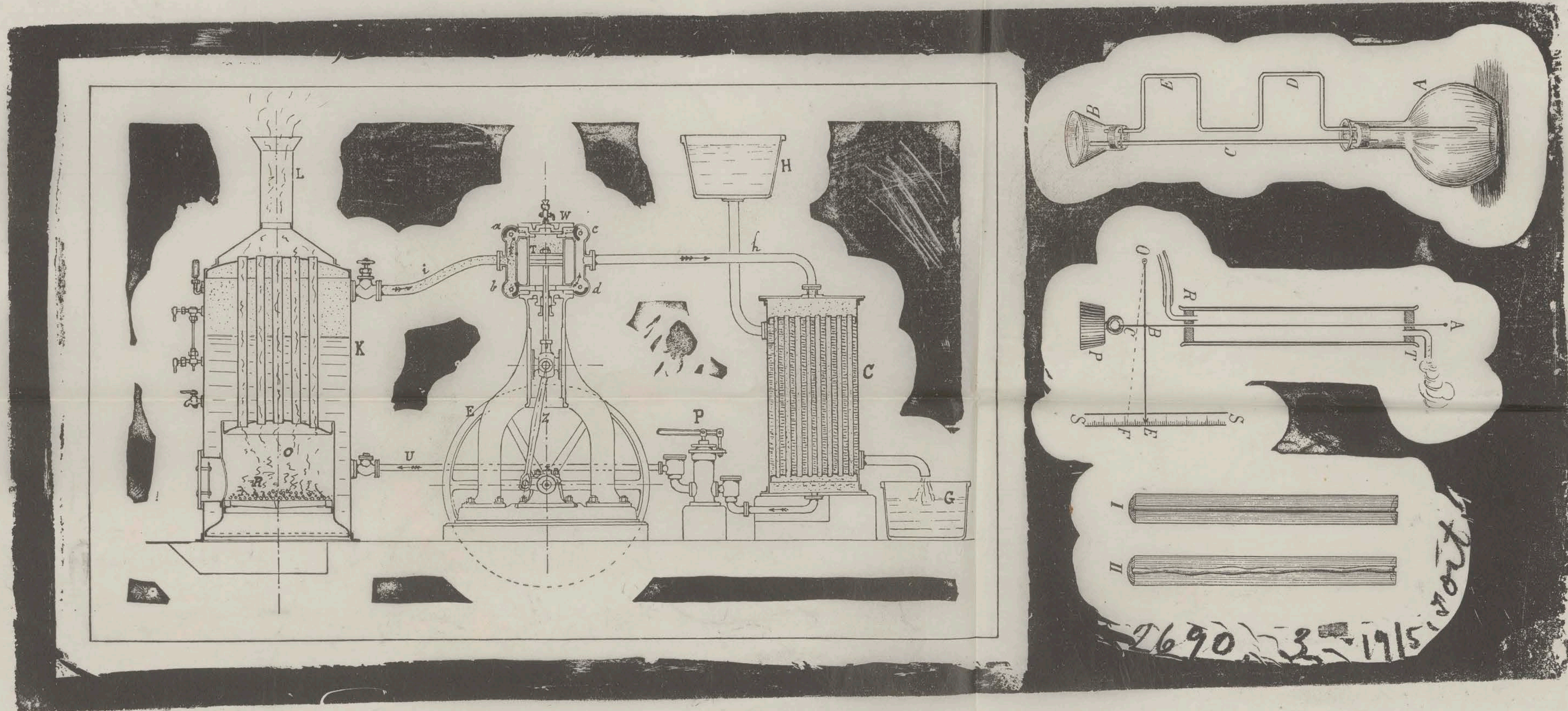


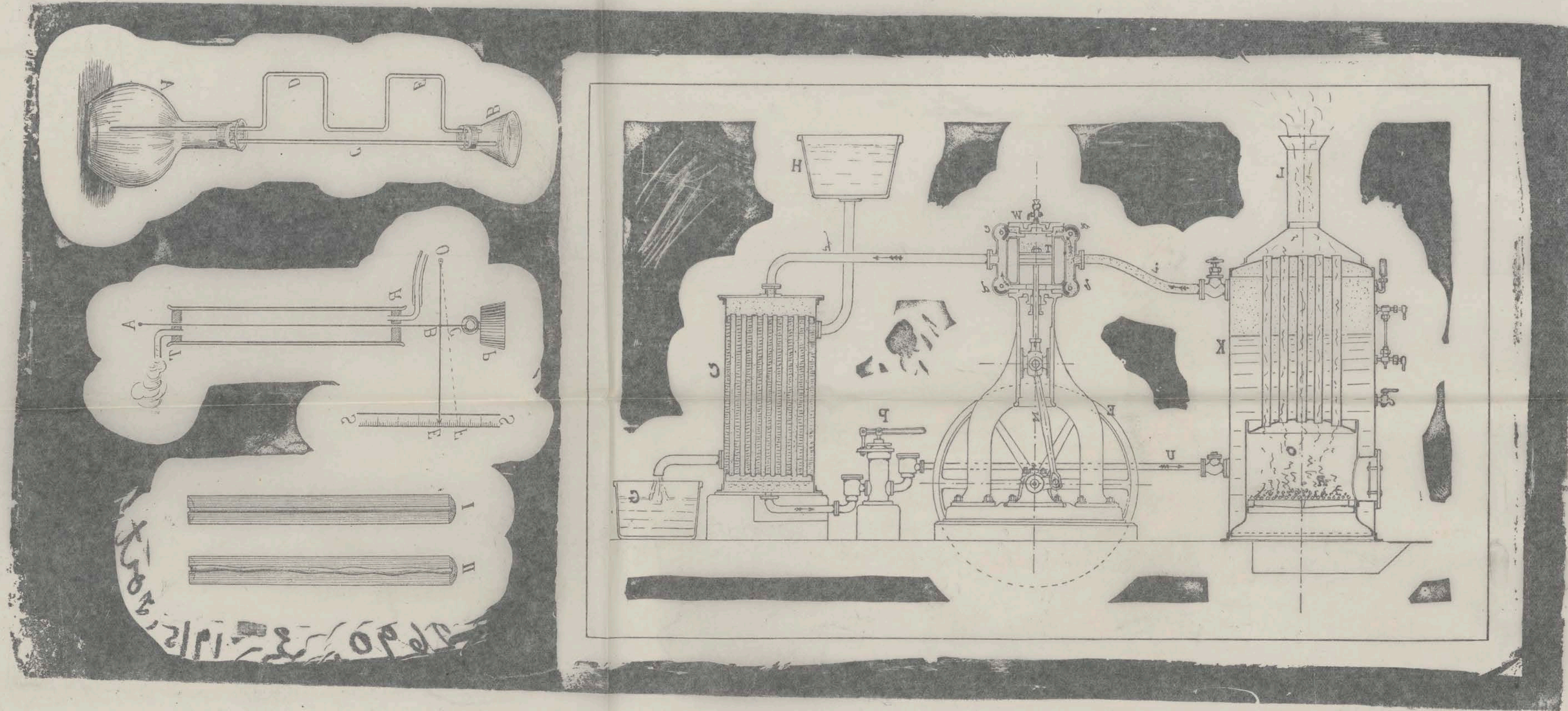
216



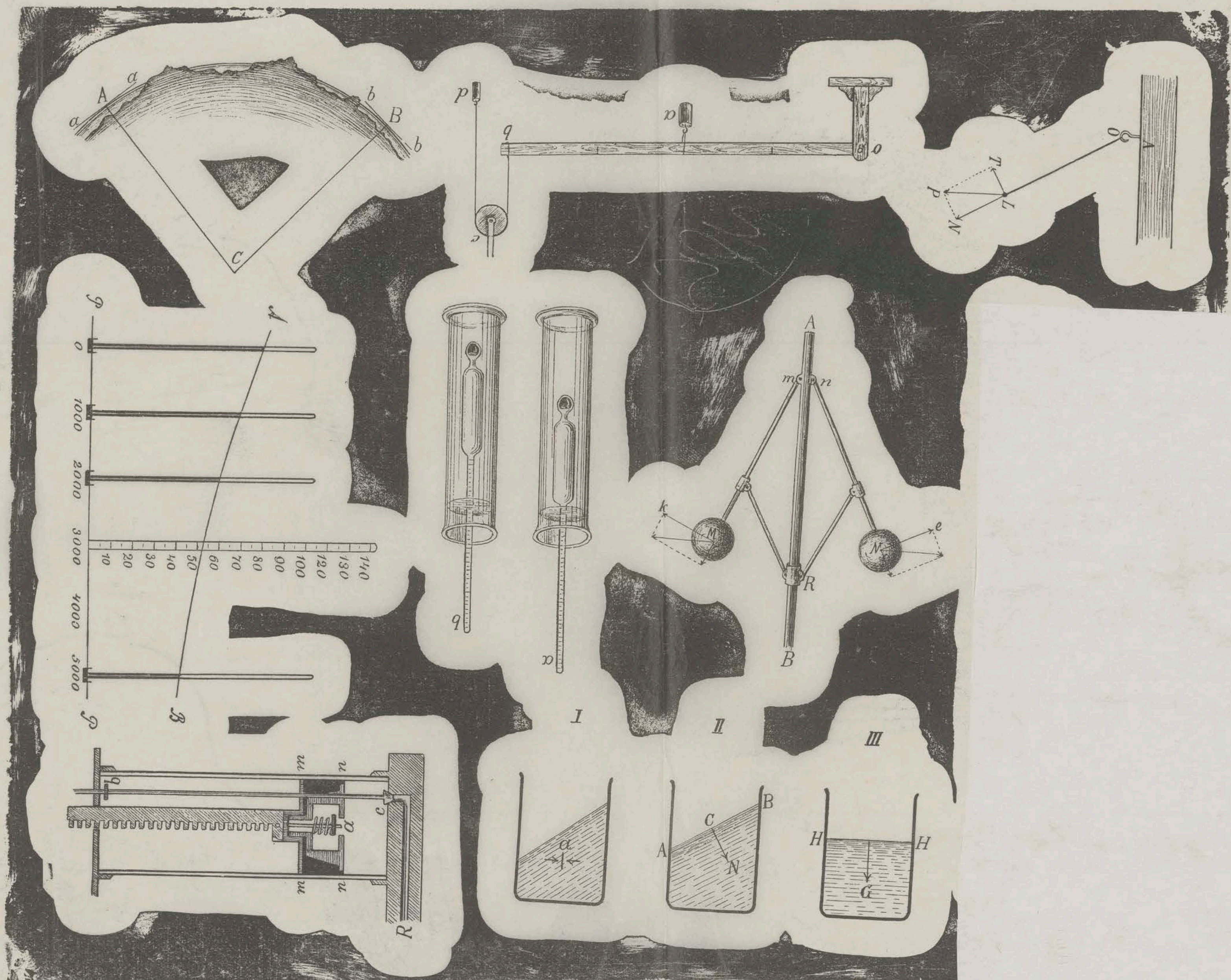


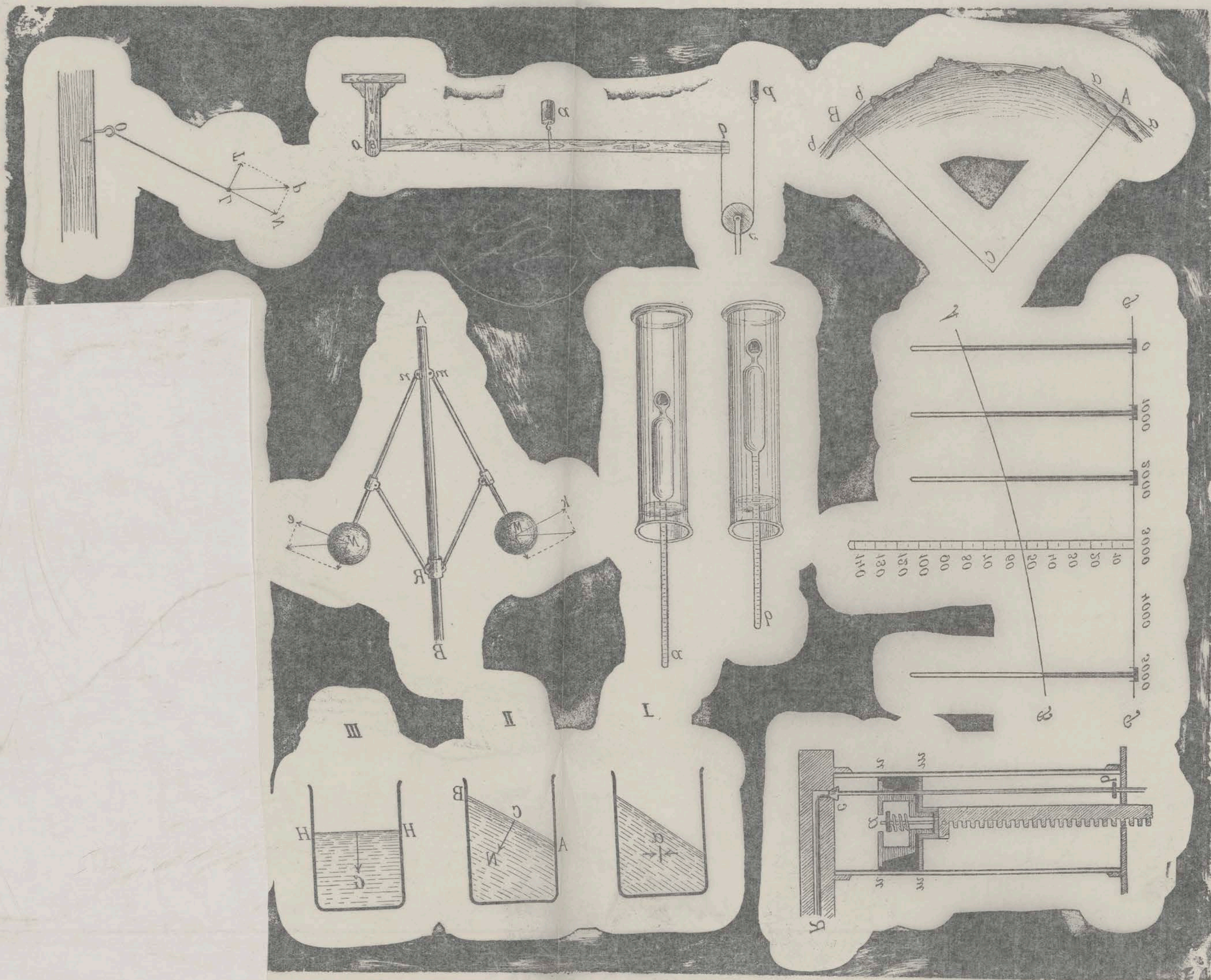
217

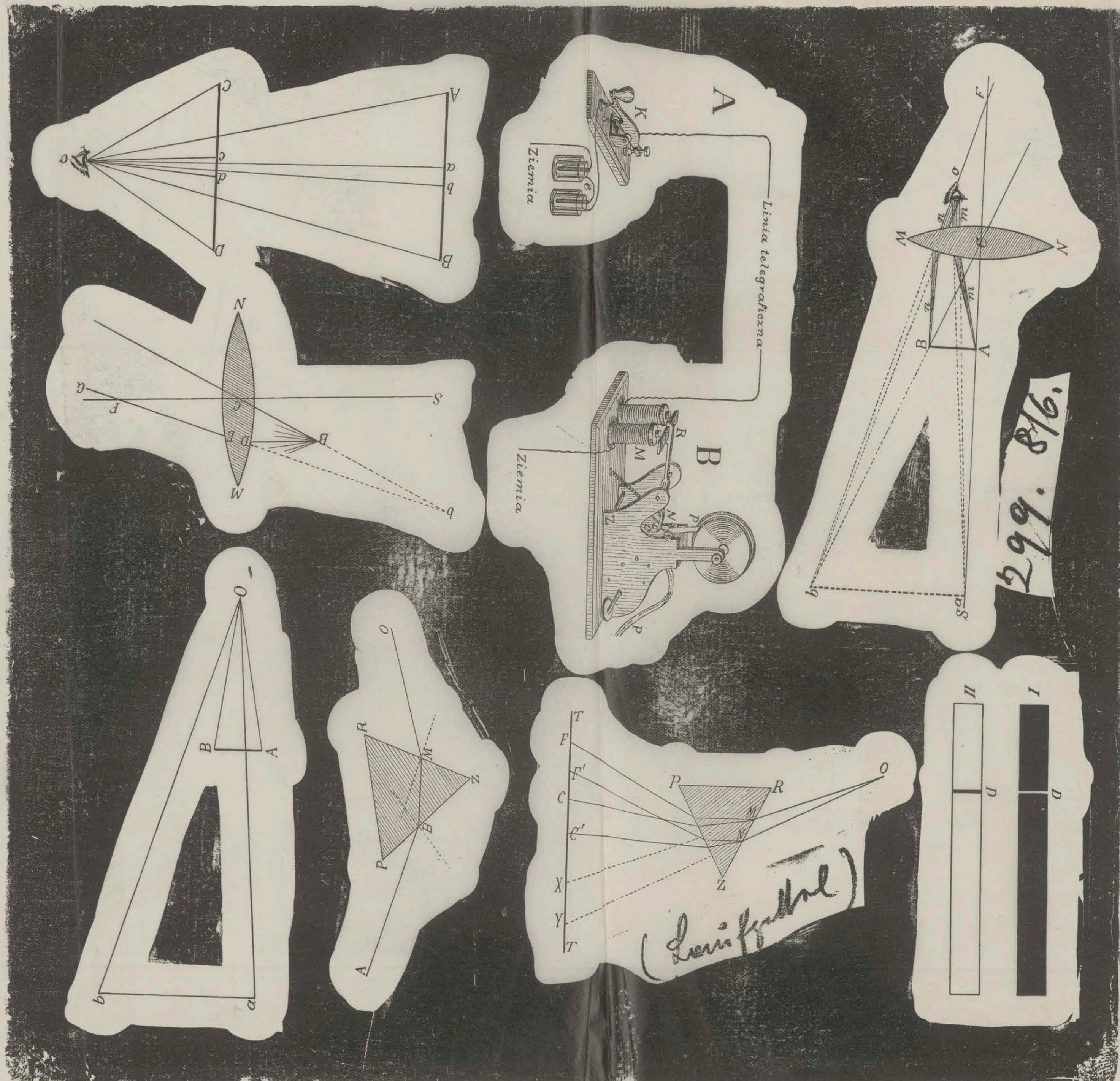


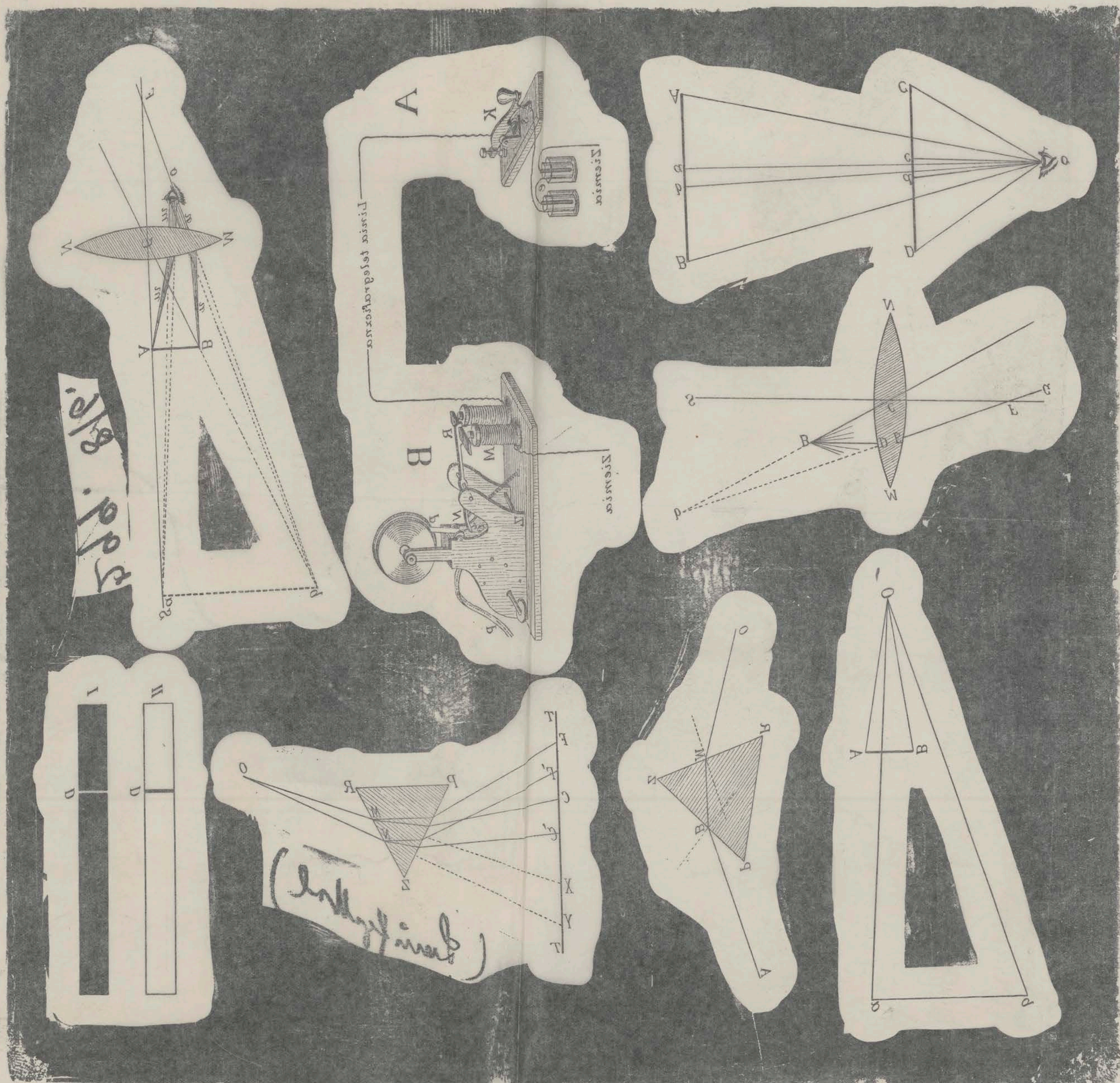


218

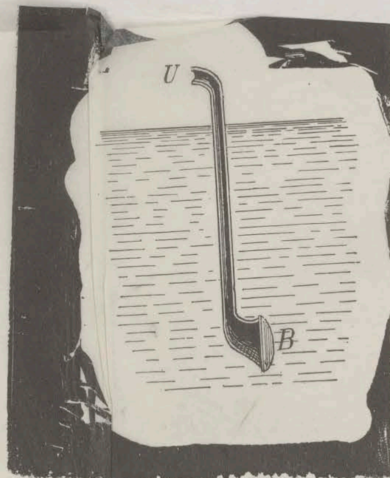




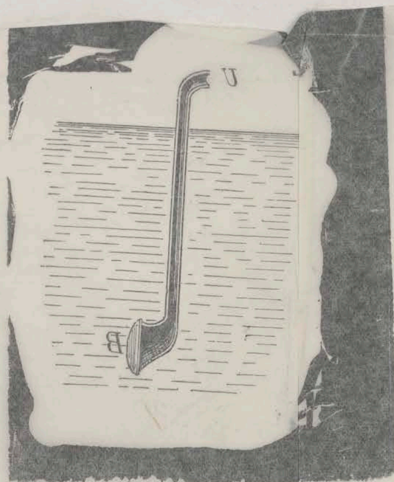

A
B
Linia telegraficzna
Ziemia
Ziemia
299. 816.

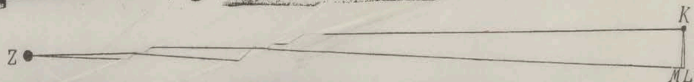


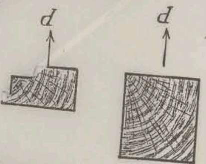
220

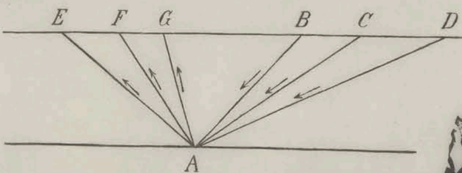


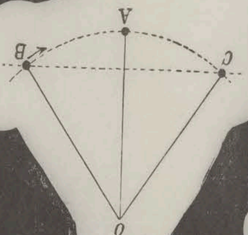
1 6

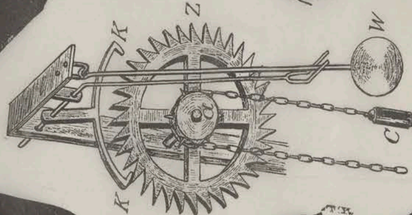

U
B

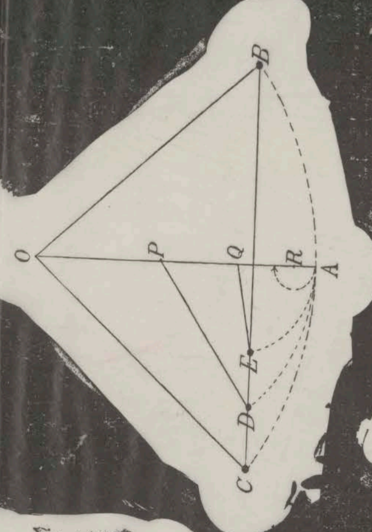

Z
K
M L

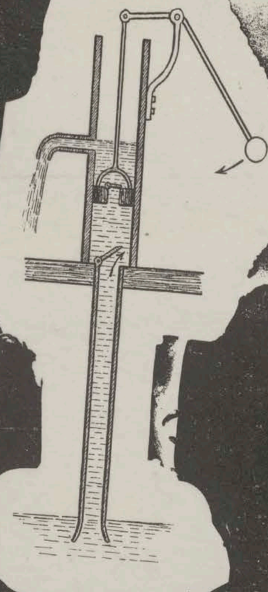


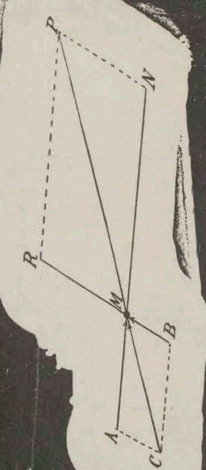

E F G B C D
A

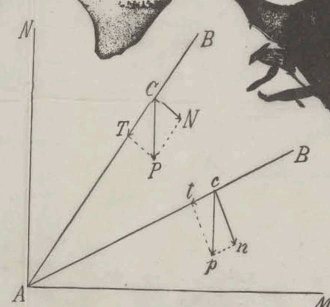

A
B
C
o

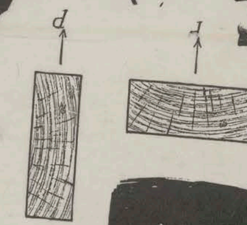

K
Z
W
K


B
O
P
Q
R
A
E
D
C

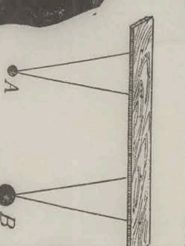


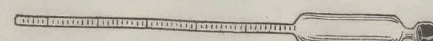

P
N
R
M
B
A
C


N
B
c
T
N
P
B
t c
p
n
A
M

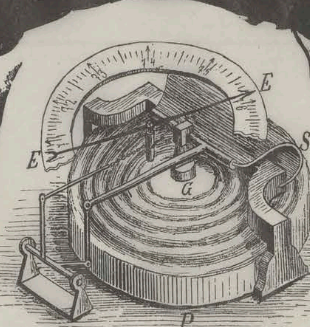


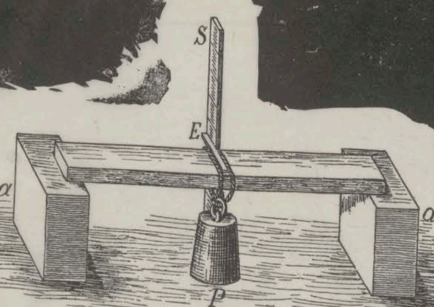


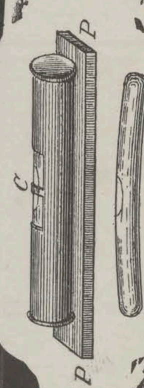

A
B

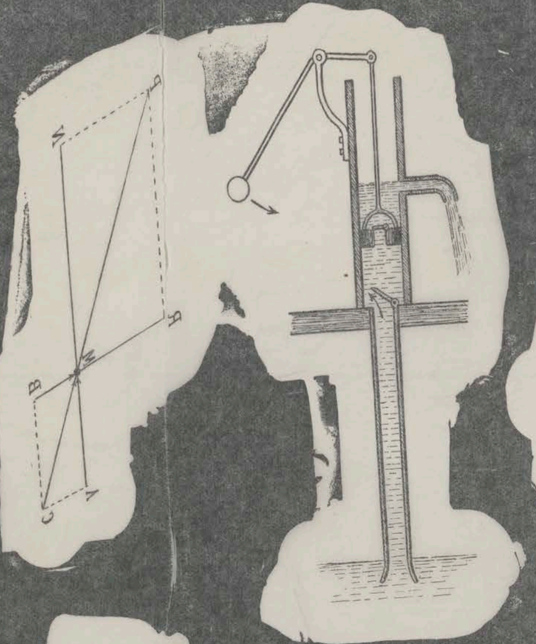


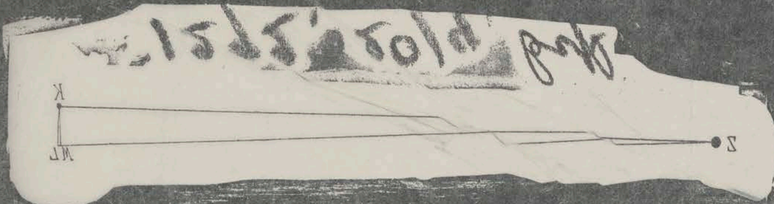

H
F
E

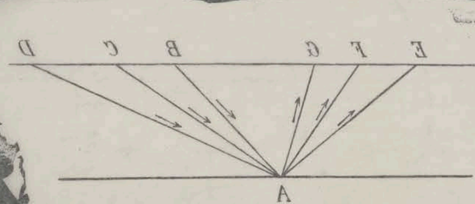

E
E
S
a
P

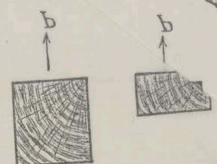

S
E
a
a
P

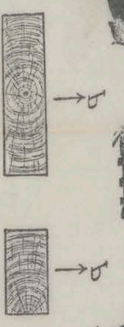

P
C
P

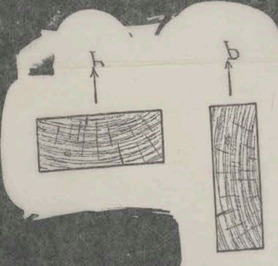


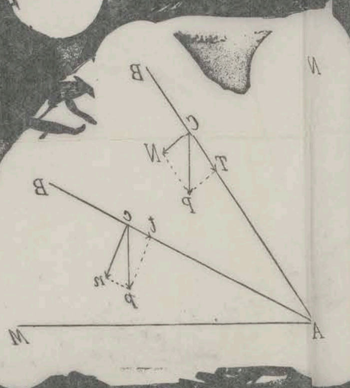


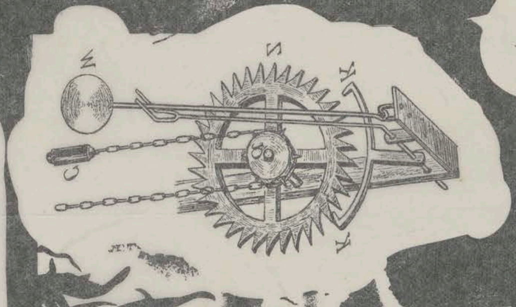


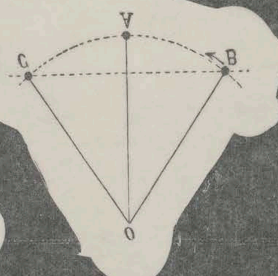


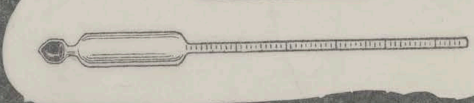


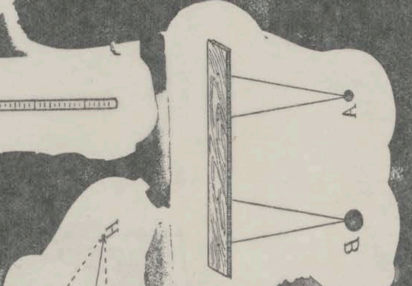


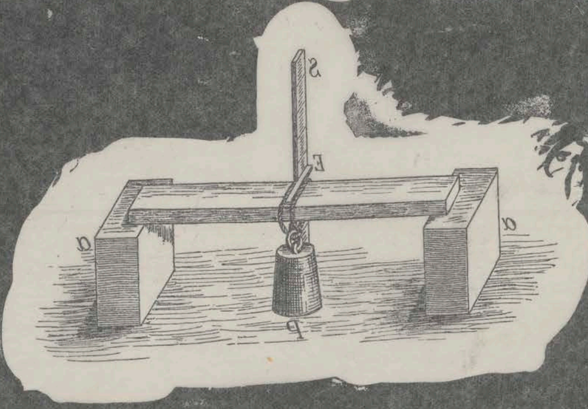


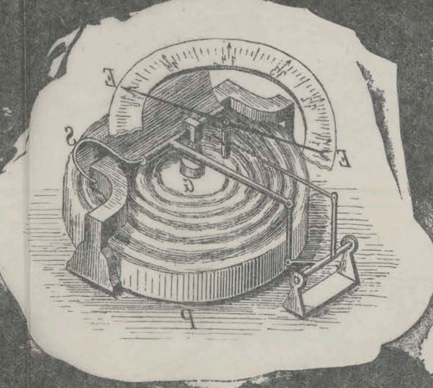


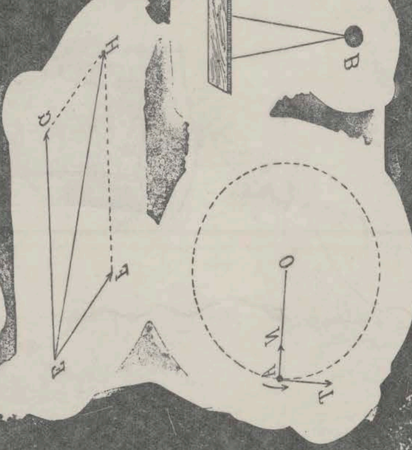


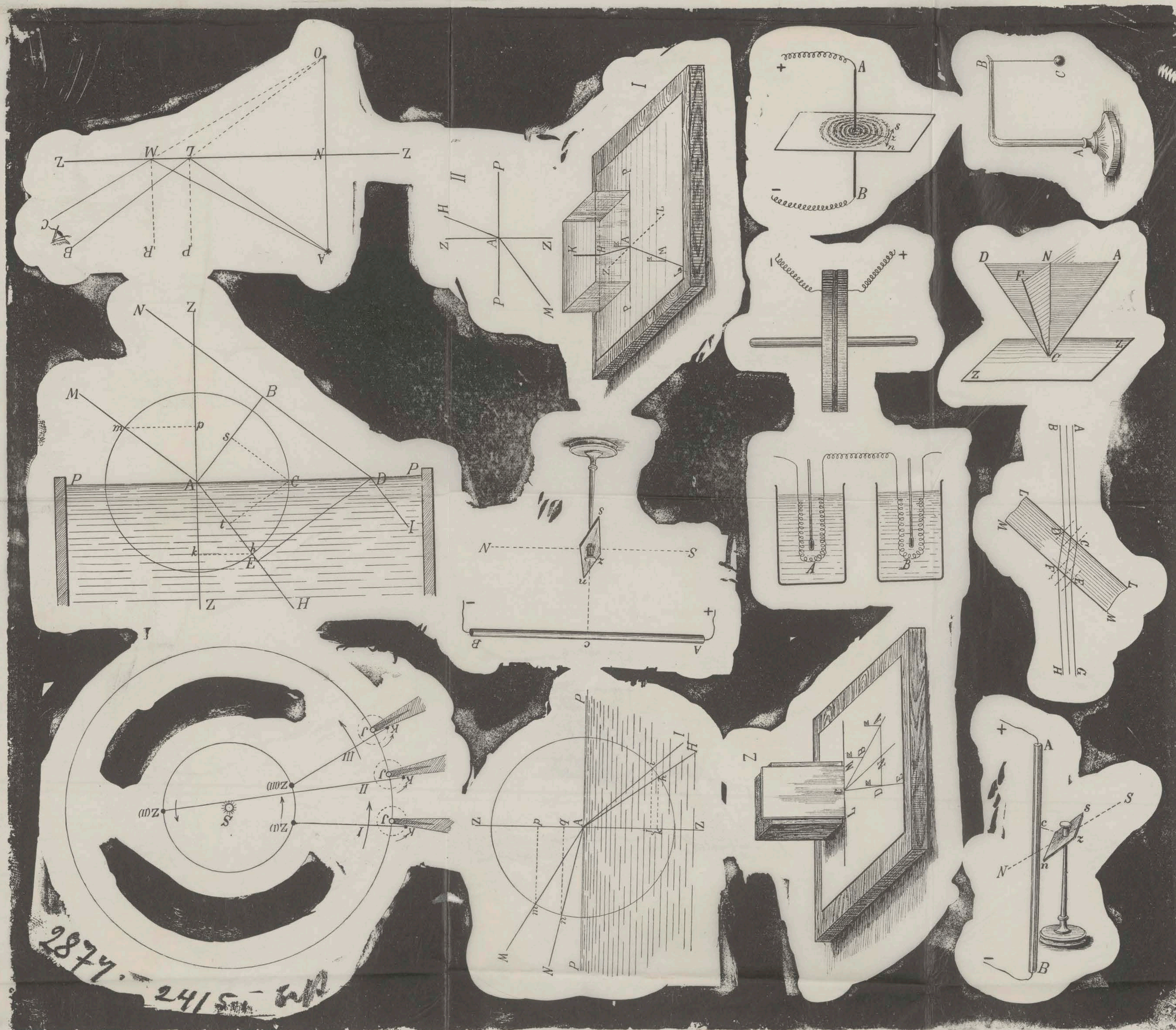


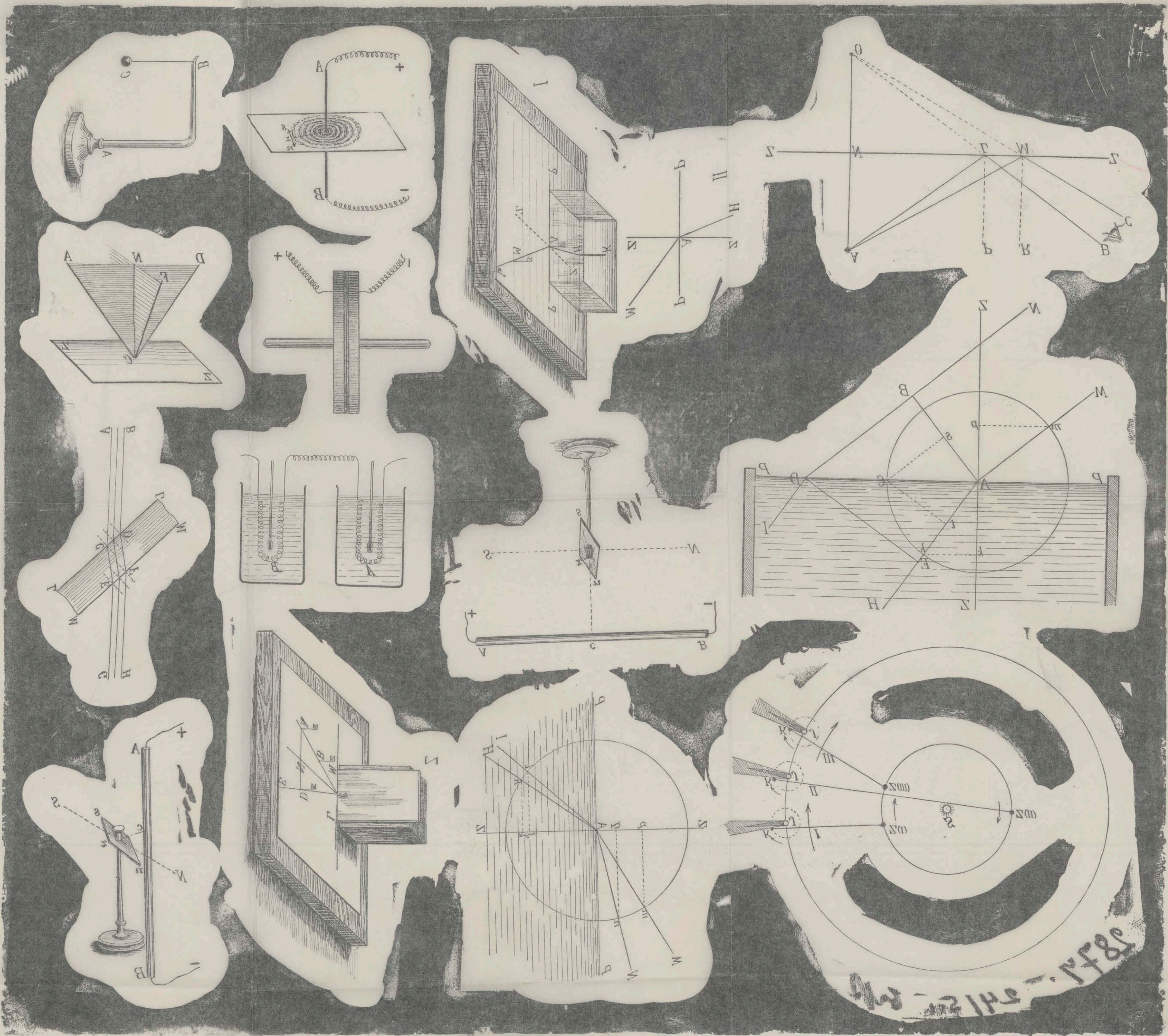




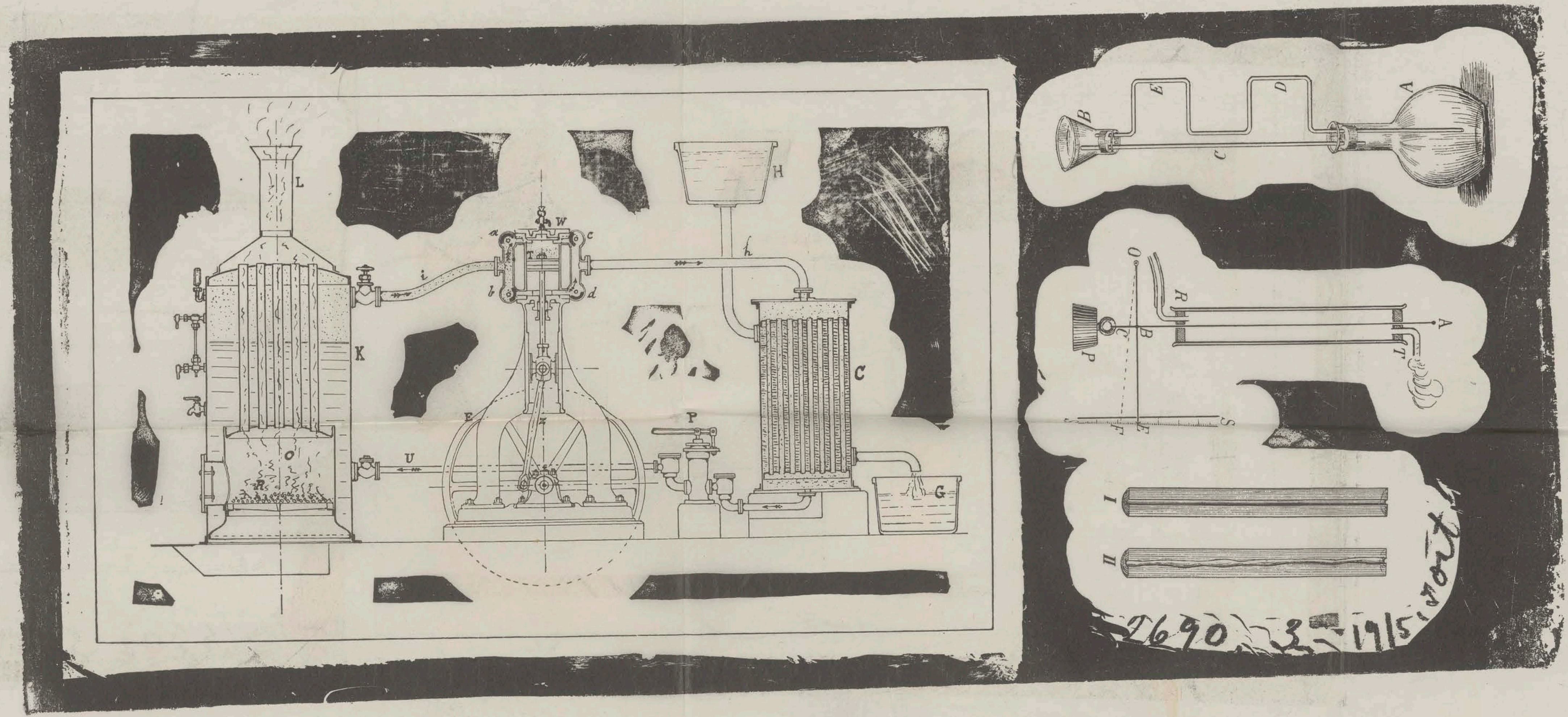


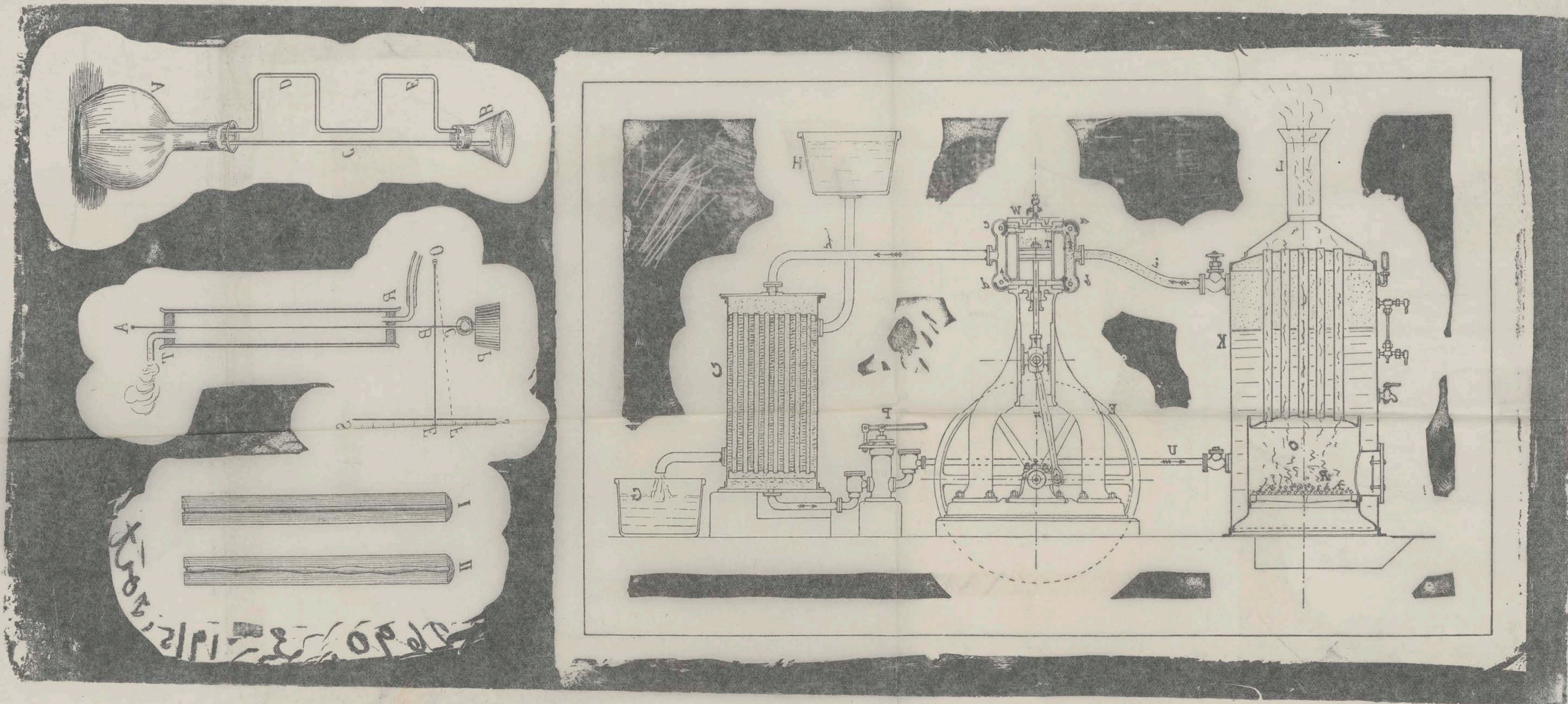




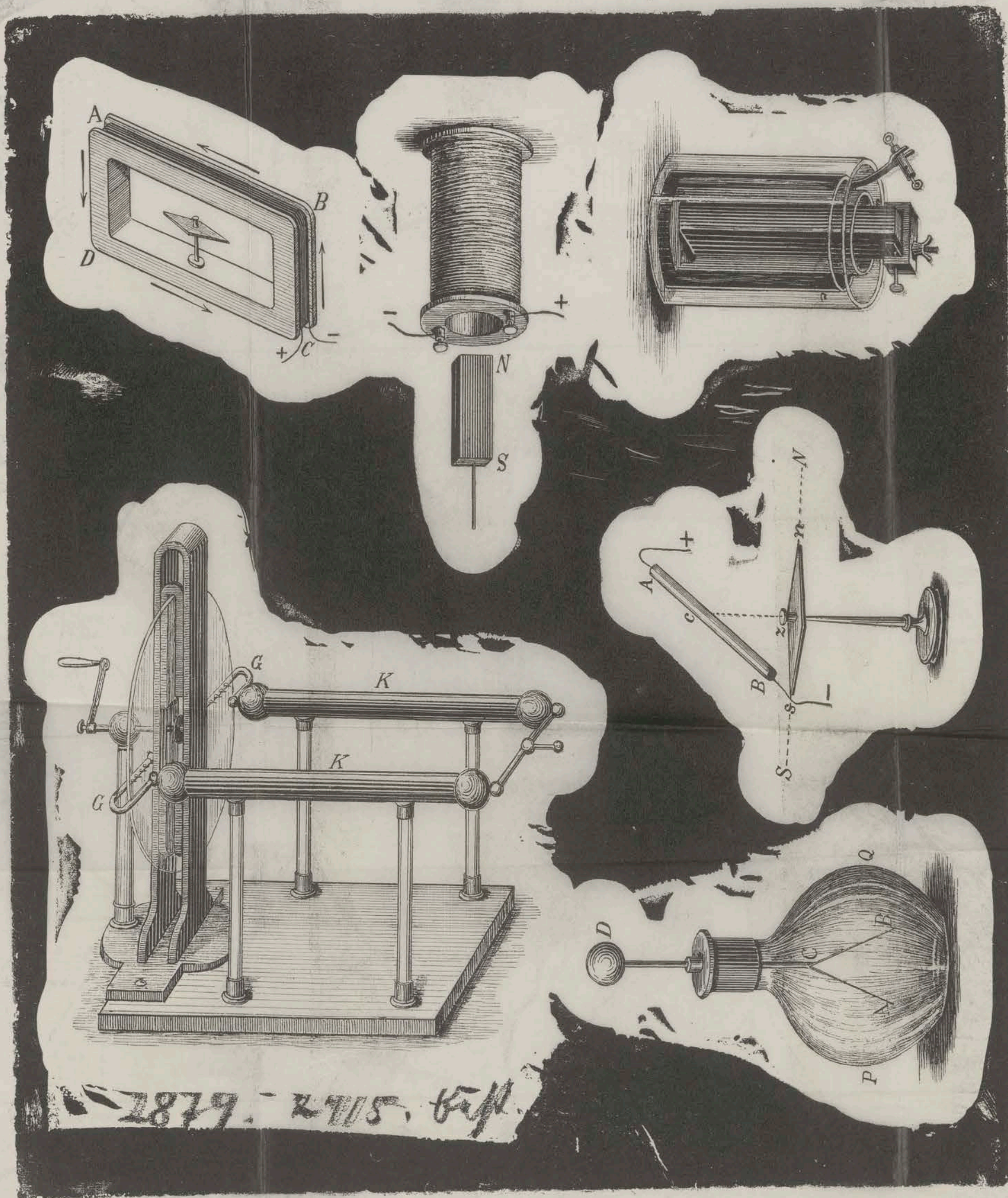


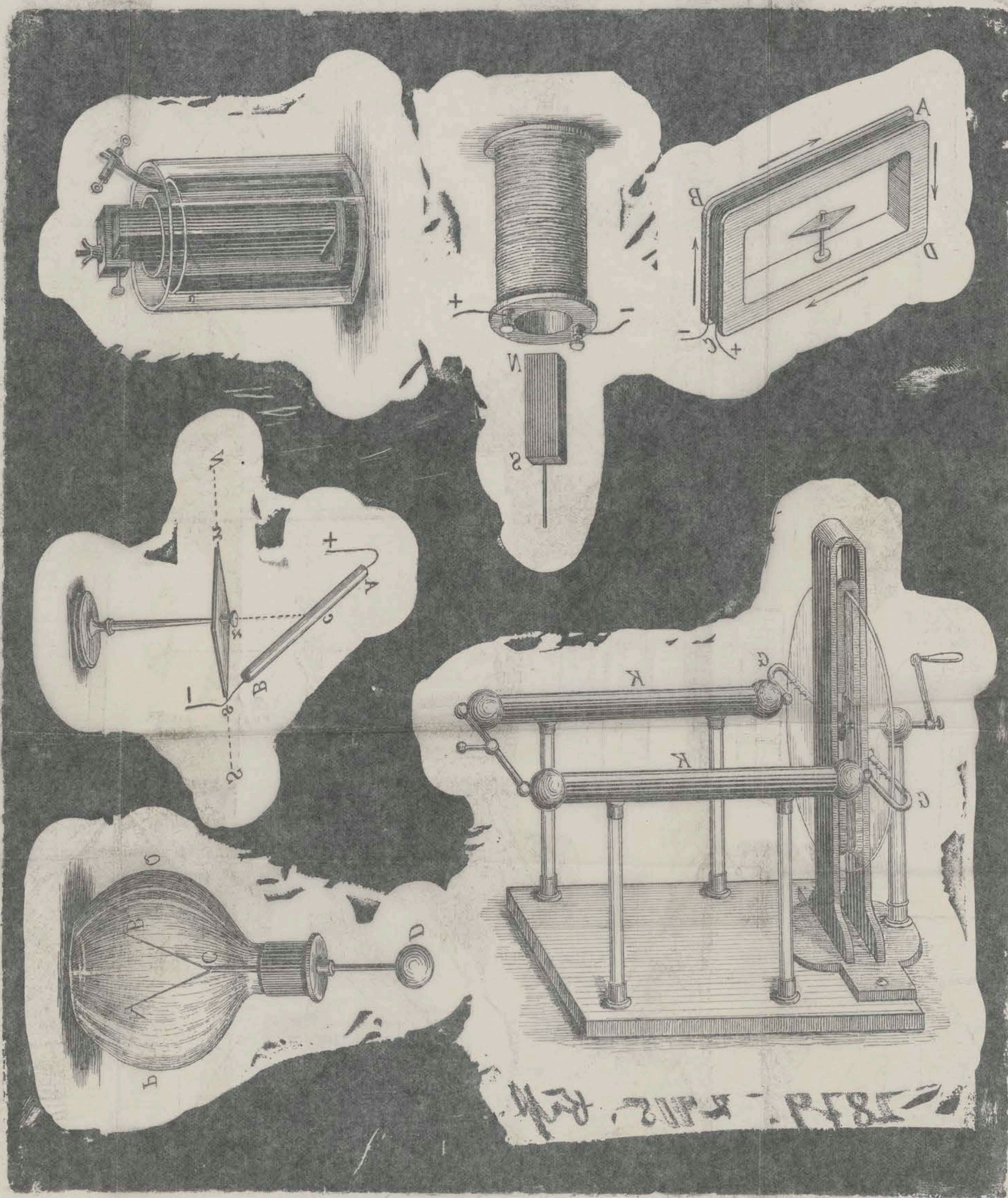
223

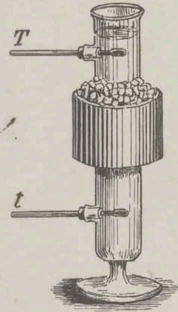




224

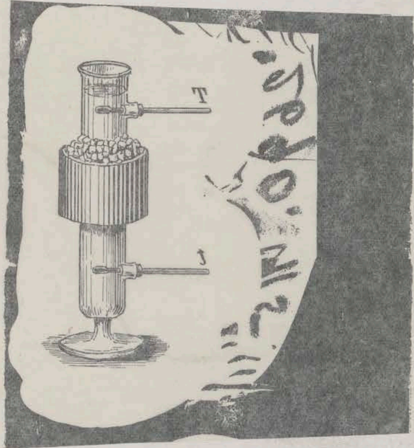


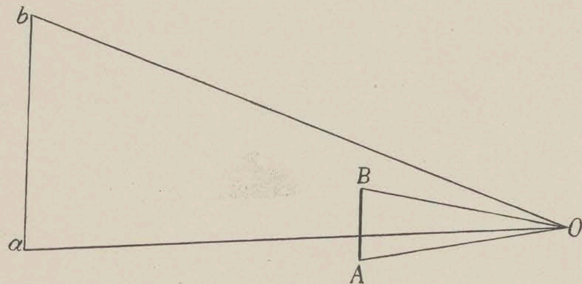


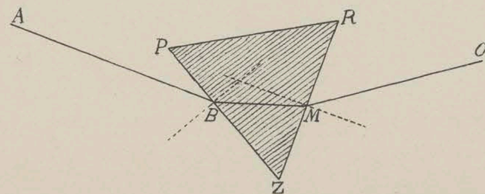


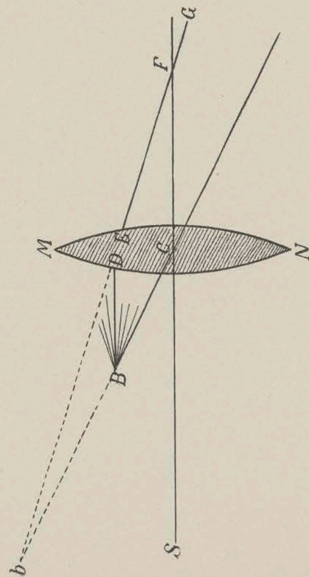
225

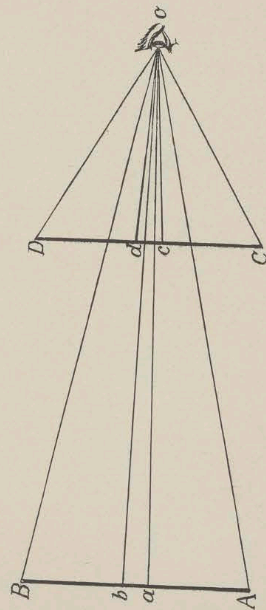
1ª

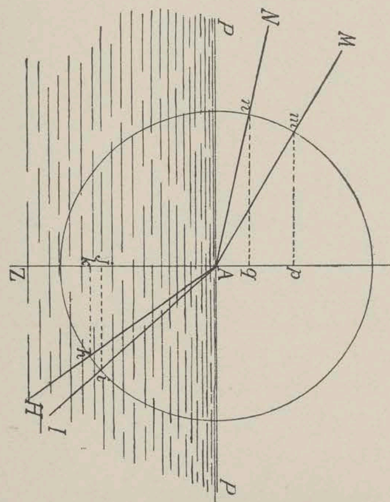

T

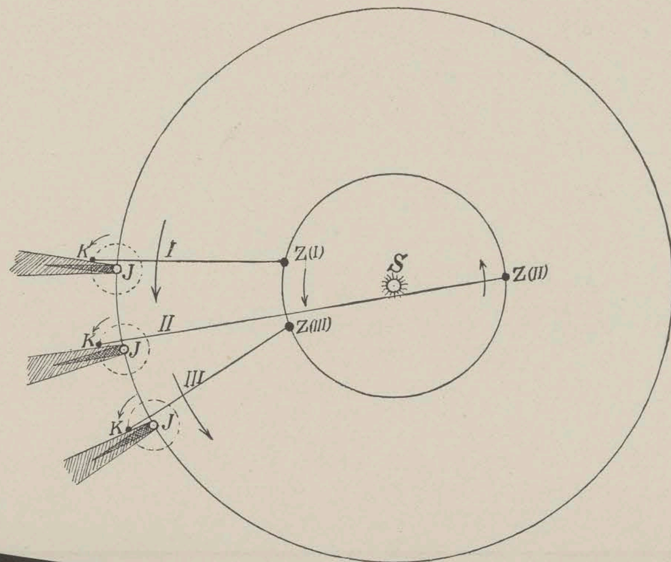

b
B
O
a
A


A
R
P
O
B
M
Z


G
F
M
D E
C
N
B
b
S

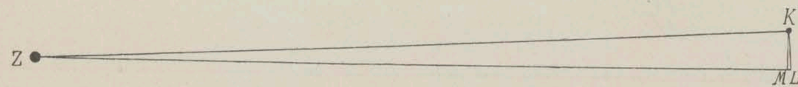

o
D
d
c
C
B
b
a
A


Z
A
b
p
N
M
n
m
H
I
P
P

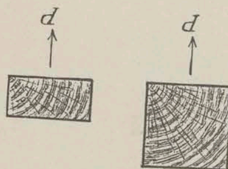

K
J
I
II
III
Z(I)
Z(II)
Z(III)
S



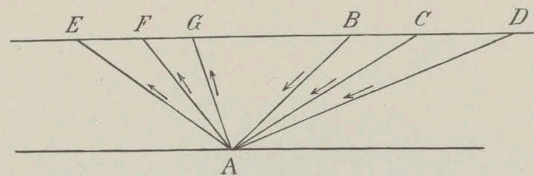
228



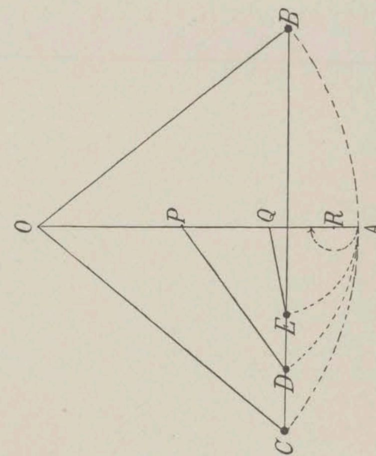
Z
K
M
L



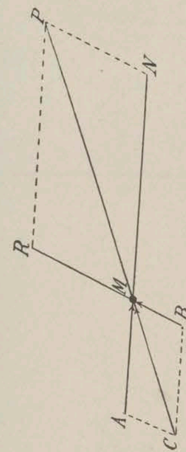
d
d



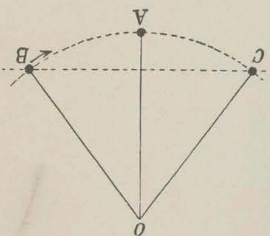
E F G B C D
A



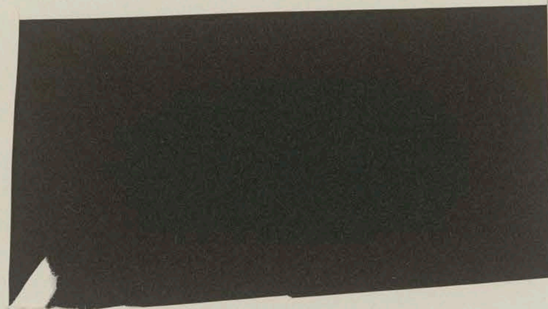
B
O
P
Q
R
A
E
D
C

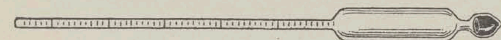


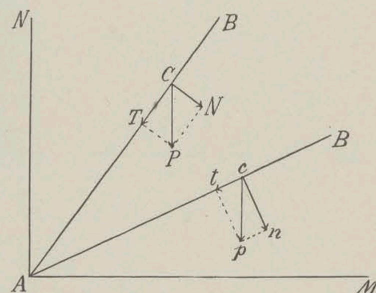
P
N
R
M
B
A
C



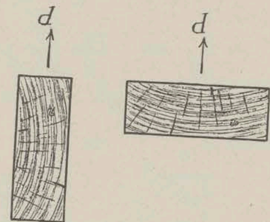
A
B
C
o



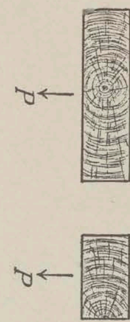




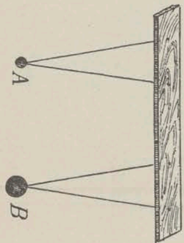
N
B
C
T
N
P
B
t
c
p
n
A
M



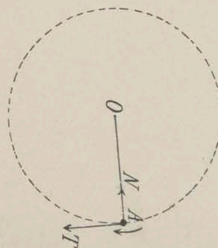
d
d



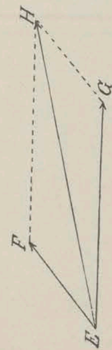
d
d



A
B

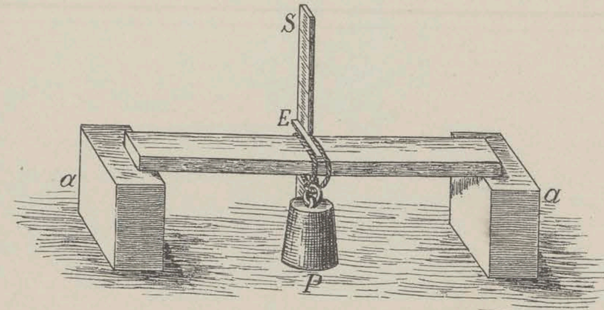


O
N
A
T

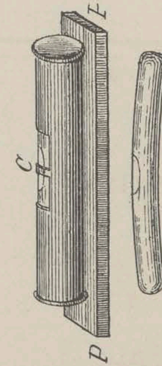


H
G
F
E

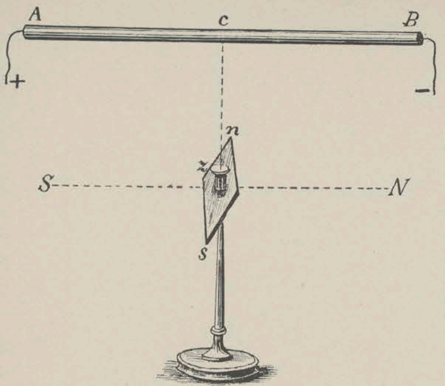


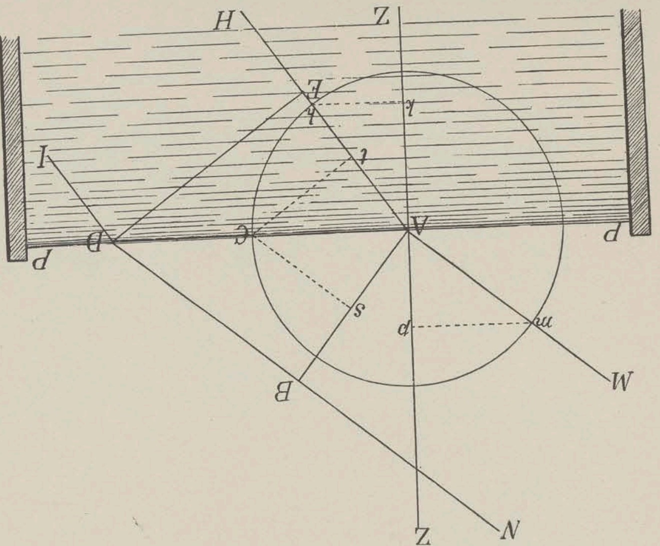


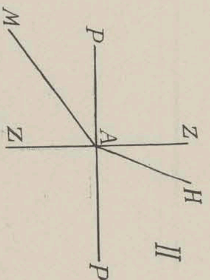
S
E
a
a
P

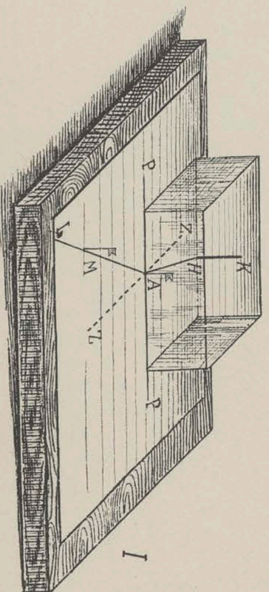


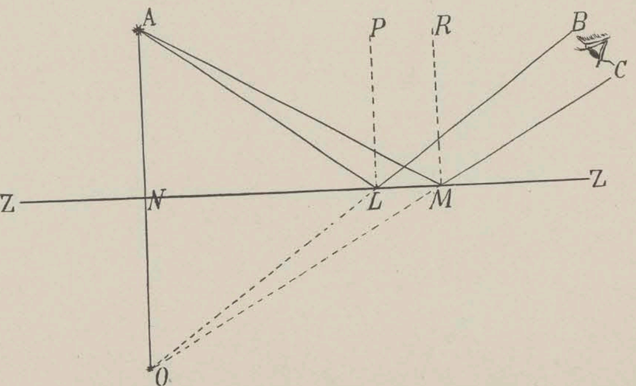
F
C
P

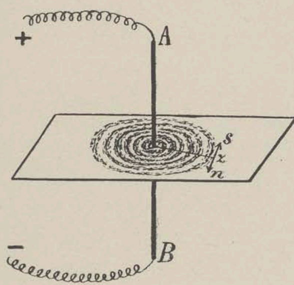

A
c
B
+
−
S
N
n
s

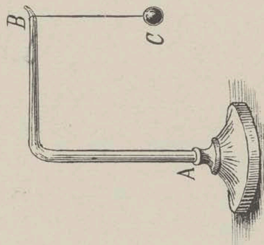

H
Z
E
k
t
I
D
C
A
P
P
s
p
m
M
B
Z
N

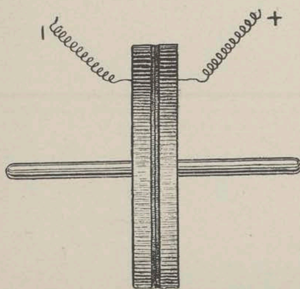

Z
H
A
P
P
M
Z
II

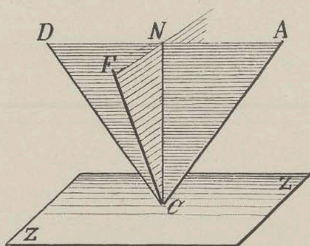

K
H
Z
A
P
P
M
L
I

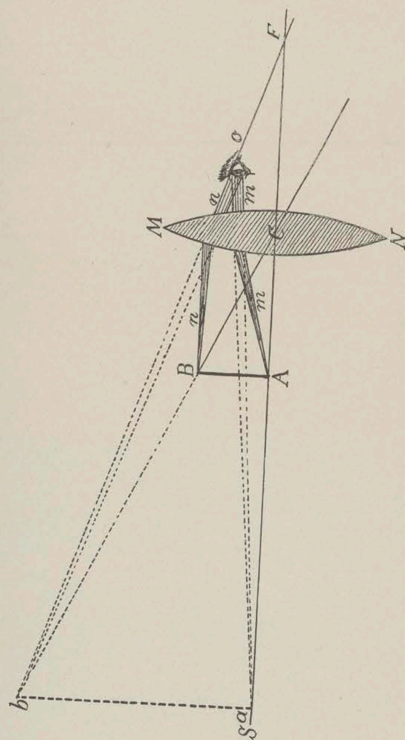

A
P
R
B
C
Z
N
L
M
Z
O

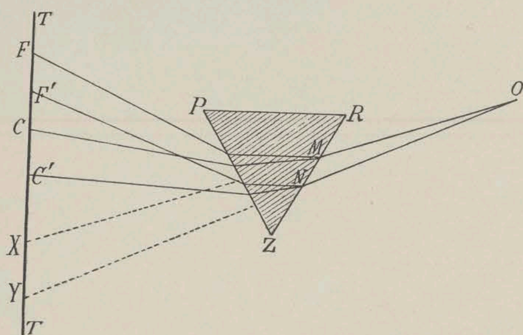

+
A
s
z
n
–
B


B
C
A

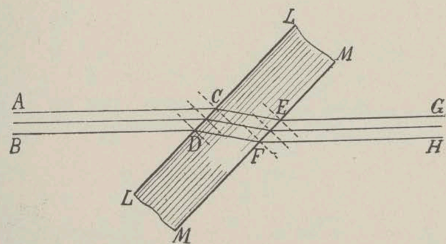

–
+

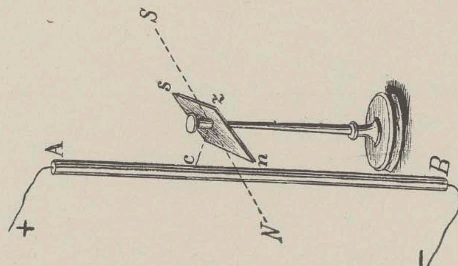

D
N
A
F
Z
C
Z

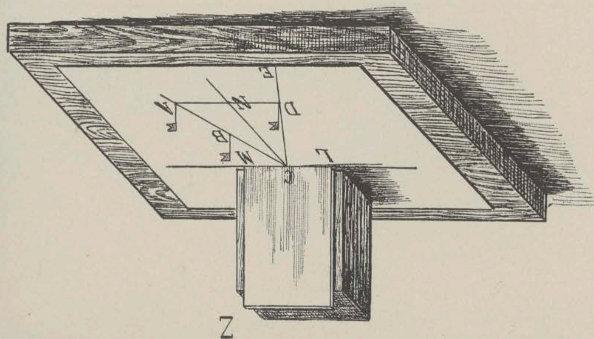

F
o
a
m
M
C
N
n
m
B
A
b
S
a

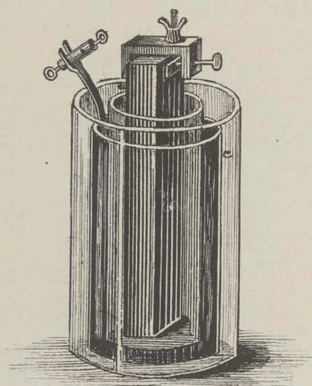

T
F
F′
C
C′
X
Y
T
P
R
M
N
Z
O

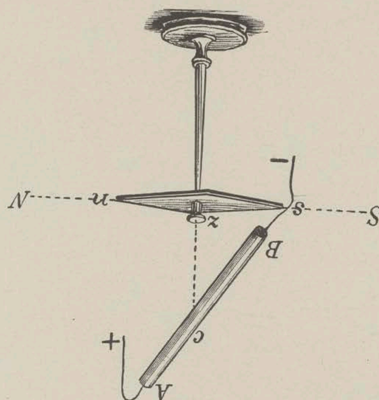

II
I
D
D

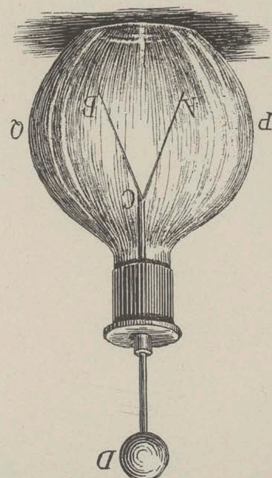

L
M
A
C
E
G
B
D
F
H
L
M

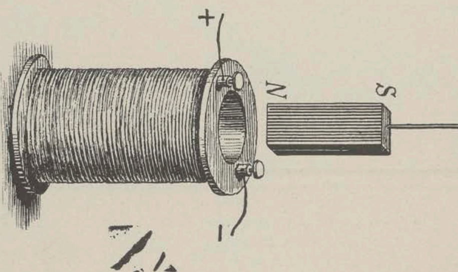

S
s
n
A
c
n
B
+
N
−

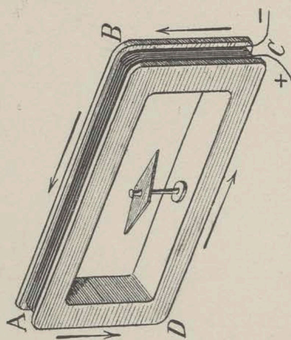


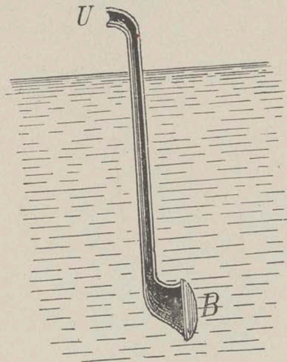


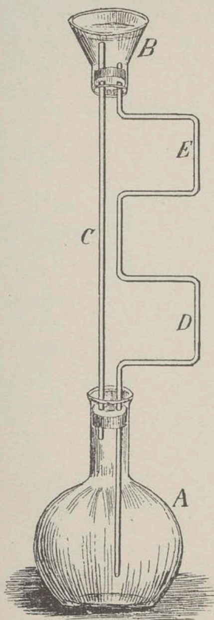

N
n
s
S
z
B
c
A
+
−

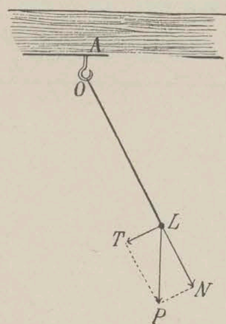

P
Q
A
B
C
D

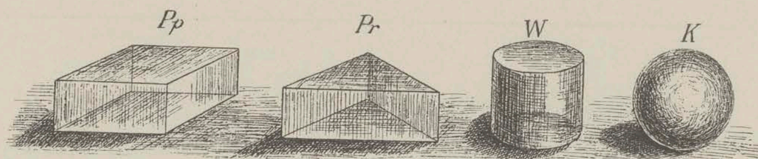

+
N
S
−

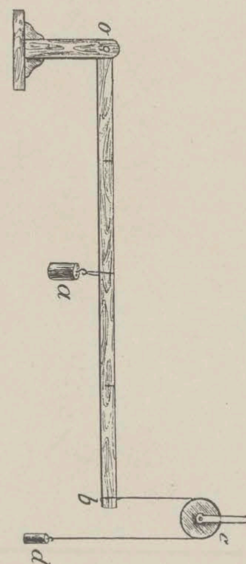

A
B
C
D
+
−

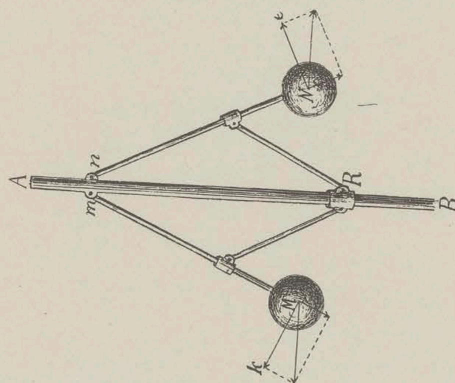

U
B

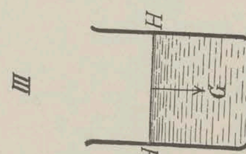

B
E
C
D
A

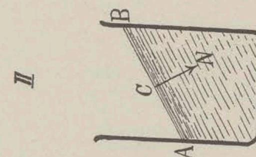

A
O
L
T
N
P


Pp
Pr
W
K

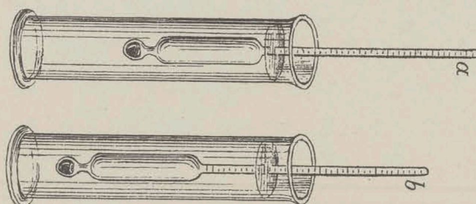

o
a
b
c
p

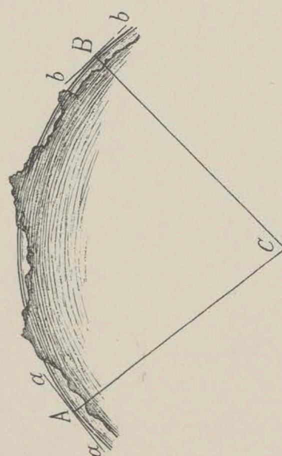

A
n
m
R
B
M
e
k

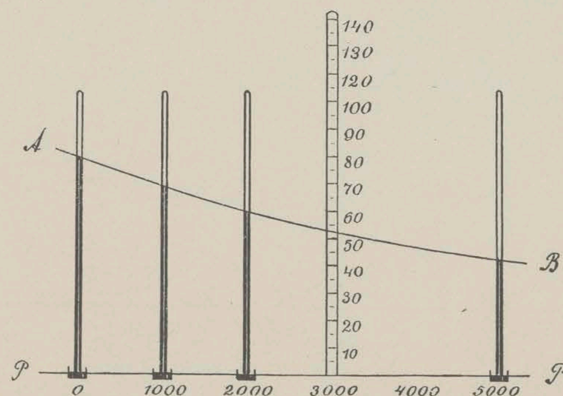

III
H
H
C

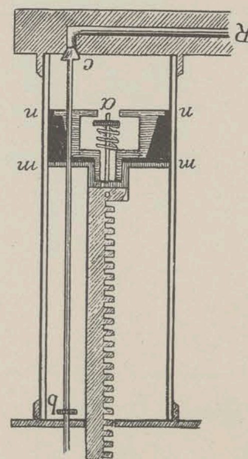

II
B
C
N
A


I
a


a
b


b
B
b
C
a
A
a


A
B
P
P
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1000
2000
3000
4000
5000


R
c
n
n
a
m
m
b

1/27 – 7

Sobota

II Rys. 60.
61
62
63.
74
78
79
83
84
91
95
99
102

III 115

IV 121
126
127
129
136

I. 1
5
11.
12
24
25 (ciemne niema)
26 (——)
27 (——)
30.
31 (——)
32 (——)
33 (——)
34 (——)
38
39
45
46
47
48
49
52

V

147
151
154
155
~~156~~
157
159
163
164
165
166
167
168
169 (jilu vremea)
170 (—)
171 (—)
172 (—)
173 (—)
174 (—)

VI

180
183
184
190
191
192
195
198
199
200
201 (pinu vreme)
202 (—)
203 (—)
204 (—)
205 (—)
206 (—)
207 (—)
209
211 (—)
212

I — 21
II — 13
III — 1
IV — 5
V — 19
VI — 20

79